ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME IX AVRIL 1950 NUMÉRO 34

L'accès aux connaissances scientifiques

Tout progrès en science se fait en deux étapes: d'abord rassembler les faits, puis formuler des lois qui permettent de ranger dans la même catégorie des faits qui auparavant ne semblaient nullement apparentés. Une loi judicieusement formulée rend possible la prévision de faits que ni l'observation ni l'expérience n'ont encore mis en lumière. Par ailleurs, ces prévisions, se vérifiant, témoignent de la vérité de la loi. La première tâche de l'homme de science qui se lance dans un champ de recherches est de se familiariser avec l'œuvre de ses prédécesseurs et de se mettre au courant de ce que font ses contemporains qui explorent le même domaine.

Cela est très simple à énoncer; mais en pratique de tels obstacles se dressent entre le chercheur et les connaissances dont il a besoin que le progrès de la science en est parfois entravé. La somme des travaux antérieurs et la masse des documents nouveaux sont dans beaucoup de cas si impressionnants que le travail de bibliothèque rejette au second plan celui de laboratoire. Il arrive au lecteur le plus assidu de s'apercevoir que certains travaux importants lui ont échappés, dont la connaissance aurait comblé d'importantes lacunes et épargné des semaines ou des mois de travail de laboratoire. De plus, les lignes de démarcation entre les principales branches de la science sont actuellement tantôt indistinctes tantôt complètement effacées: ce qui a donné naissance à une foule de nouvelles revues spécialisées. Comment éviter alors que, dans le nombre, quelques publications, même d'un intérêt considérable, ne passent inaperçues ? Prenons comme exemple la science relativement nouvelle, mais déjà importante, des antibiotiques: les articles consacrés à ce sujet, ou qui s'y rapportent d'une façon quelconque, se trouvent non seulement dans les périodiques dont c'est la spécialité mais aussi dans ceux qui traitent de science générale, médecine clinique, chirurgie, pathologie, biochimie, chimie, agronomie, pathologie des plantes, pharmacie, nutrition; ou relèvent du domaine de l'ingénieur-chimiste, du mycologue, du bactériologiste, de l'analyste expert ou du statisticien.

Il faut aussi assurer au chercheur l'accès aux découvertes des parties de la science autres que la sienne. A notre époque de spécialisation il y a tendance à sous-estimer l'importance de ces échanges bien qu'il soit arrivé maintes fois que les méthodes d'une branche de la science aient servi à résoudre les problèmes surgis dans une autre. C'est à la revue scientifique qu'il incombe de renseigner les savants de toutes catégories sur les progrès faits dans toutes les branches de la science.

La multiplicité même de ses progrès est une menace pour la science, et bien que la gravité de cette situation ne soit pas aussi universellement reconnue qu'on le souhaiterait, elle a fait l'objet d'une étude très poussée dans ces derniers temps.

Entre-temps certaines dispositions utiles ont été prises pour faciliter la tâche du chercheur. Il y a en particulier les bulletins d'extraits dont il n'est guère besoin de souligner l'utilité mais qui ont néanmoins des inconvénients qui les rendent inaptes à donner au chercheur une documentation complète sur les acquisitions dans son domaine. L'extrait d'une communication omet parfois quelque détail qui ne relève pas immédiatement du sujet principal. En outre, il s'écoule nécessairement quelque temps entre la publication de l'extrait et celle de la communication originale.

De plus, il est de rigueur dans le classement des extraits, de se maintenir sur les «grand' routes» des progrès scientifiques, tandis qu'actuellement certains chercheurs isolés tentent de passer «à travers champs» d'un sujet à l'autre.

Il existe depuis peu une catégorie de compilateurs, soit travaillant pour leur propre compte,

soit attachés à des bibliothèques de science, dont c'est le métier de réunir de la documentation sur un sujet donné. Certes leurs services, appréciables sous beaucoup de rapports, rendent moins malaisée la tâche du chercheur scientifique, et ils sont sans doute appelés à prendre faveur; mais l'inconvénient est que le compilateur n'est pas toujours en mesure d'aborder sa tâche dans le même esprit que le chercheur dont il est l'auxiliaire.

Certaines grandes bibliothèques possèdent depuis peu des services de reproduction photographiques par microfilms et «photostat» qui ont fait faire un grand pas vers la solution du problème du facile accès à la littérature scientifique pour tous ceux qui en ont besoin, sans toutefois les dispenser de la tâche primordiale de «repérer» le document utile.

Dans les domaines les plus explorés une telle masse de documentation s'est accumulée que le seul dépouillement en représente un labeur écrasant. Certains moyens mécaniques d'obvier à cette difficulté ont été mis en œuvre dans les bibliothèques. Le plus commun consiste en une serie de fiches percées, dont les perforations forment un dessin distinct pour chaque sujet d'étude, et d'appareils qui peuvent, par un triage automatique, grouper toutes les fiches portant le même dessin.

Un autre pas en avant a été la simplification des combinaisons de symboles scientifiques.

Malgré tout ce qui a été fait pour l'aider, celui qui s'adonne aux recherches scientifiques en est encore à compter sur ses propres moyens, ou sur les rédacteurs d'extraits, sauf quand il dispose d'une bibliothèque bien constituée et pourvue des services spéciaux dont il est parlé plus haut: ces services toutefois ne peuvent s'étendre que très lentement, de sorte que ce n'est pas de si tôt que la situation s'améliorera sensiblement. Plus d'un d'ailleurs hésite à se fier à sa mémoire lorsqu'il s'agit de questions d'importance capitales. L'essentiel en somme est de trouver à bref délai le renseignement dont on a besoin. Il y aurait lieu en conséquence de rappeler qu'il y a un moyen, trop négligé jusqu'ici, d'enseigner aux hommes de science, aux jeunes surtout, à se tirer d'affaire. C'est de leur faire, au début de leur stage universitaire, un cours sur l'utilisation des bibliothèques scientifiques. Trop d'étudiants obtiennent actuellement leurs diplômes sans jamais avoir appris à se documenter sur un sujet donné. Or, une documentation rapide exige à la fois une connaissance étendue de la bibliographie scientifique et de l'utilisation des fichiers préparés selon les méthodes de classement reconnues. Celui qui sait tirer parti des bibliothèques auxquelles il a accès y trouve de si grands avantages que l'initiation des étudiants en sciences sous ce rapport ne saurait être laissée au hasard: des cours réguliers de recherches bibliographiques devraient être institués.

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1.
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W.1.

Utilisation expérimentale des réacteurs nucléaires

SIR JOHN COCKCROFT

La physique nucléaire est devenue très rapidement l'une des branches les plus importantes et les plus fertiles de la science. Bien qu'elle en soit encore à un stade tout-à-fait embryonnaire, sa ressource en possibilités est pleinement évidente, et le pouvoir sur la matière qu'elle fournit à l'homme sera sans doute immense. Sir John Cockcroft commente ici quelques-uns des phénomènes nucléaires grâce auxquels s'élargit notre connaissance des propriétés fondamentales de l'atome.

Le progrès de la physique nucléaire a été étroitement lié au développement des techniques nouvelles. Ce fut le développement des compteurs électroniques pour protons et particules α et la chambre de Wilson qui rendirent possible la découverte du neutron. L'accélérateur de particules à haut-voltage et le cyclotron, qui augmentèrent considérablement l'intensité des sources de protons, neutrons et particules α, ouvrirent un nouveau champ d'expériences dont le développement n'est pas terminé.

Un autre instrument très important est la pile atomique ou réacteur nucléaire qui, à son tour, rend possibles plusieurs expériences nouvelles. Le réacteur, en effet, permet d'obtenir un très grand nombre de neutrons qui proviennent de la désintégration de l'uranium.

A l'intérieur de la pile se trouve une source de neutrons rapides dont l'énergie est de l'ordre de 10^6 eV, ou encore la vitesse de l'ordre de 10^9 cm/s. Hors de la pile, nous pouvons créer une source de neutrons lents dont l'énergie va de 0,02 à 1000 eV, ou la vitesse de $2{,}2 \cdot 10^5$ cm/s jusqu'à 200 fois cette valeur.

A une masse de plusieurs centaines de tonnes de graphite pur se trouve entremêlé un réseau de tiges d'uranium métallique. Il porte habituellement la dénomination de noyau réacteur. Autour du noyau se trouve une couche de graphite dite réflecteur, étant donné qu'elle renvoie à l'intérieur du système la plus grande partie des neutrons qui s'échappent du noyau. Le réflecteur est entouré d'une cuirasse de ciment qui absorbe la plus grande part des radiations qui arrivent à traverser le réflecteur, empêchant ainsi le rayonnement qui émane du réacteur d'atteindre une intensité qui pourrait être nuisible à la santé.

L'intensité de la réaction nucléaire à l'intérieur du réacteur est gouvernée par des tiges dites de contrôle: tiges de métal contenant des matériaux d'une haute capacité d'absorption pour les neutrons, tel que le cadmium ou le bore. Ces tiges servent à déterminer à volonté la disparition des neutrons dans le réacteur. Le processus de la réaction nucléaire est déterminé par la constante de reproduction de neutrons. Un neutron provoque une désintégration d'uranium et ce faisant, il libère, mettons 2 neutrons, par la rupture du noyau uranium. Un certain nombre de ces neutrons s'échappent du réacteur; certains sont absorbés par les matériaux du réacteur sans produire de désintégration, mais il en survit en moyenne une certaine fraction K qui produira une désintégration ultérieure. Si $K > 1$, la population en neutrons et l'intensité de la réaction grandissent. Si $K < 1$, la population de neutrons diminue.

Lorsque les tiges de contrôle pénètrent complètement, K est inférieur à 1 et la réaction en chaîne ne se développe pas. Pour provoquer la réaction on retire les tiges de contrôle jusqu'à ce que K soit légèrement supérieur à 1. On constate alors que la population en neutrons et simultanément la chaleur produite et l'intensité générale de rayonnement s'accroissent comme

$$e^{4 \cdot 10^4 (K-1) t}$$

avec t mesuré en heures. Si K dépasse 1 de $2{,}5 \cdot 10^{-5}$, la période de la pile est d'une heure.

Pratiquement, on retire les tiges de contrôle de façon à ce que la période du réacteur soit de quelques minutes; on laisse s'accroître la puissance de la pile jusqu'à la valeur voulue, puis on réintroduit les tiges de contrôle pour ramener K à l'unité. La puissance se stabilise alors et demeure parfaitement constante — au dix-millième près.

Les changements de température et de pression barométrique, même de quelques millibars, affectent légèrement la constante de reproduction. Il

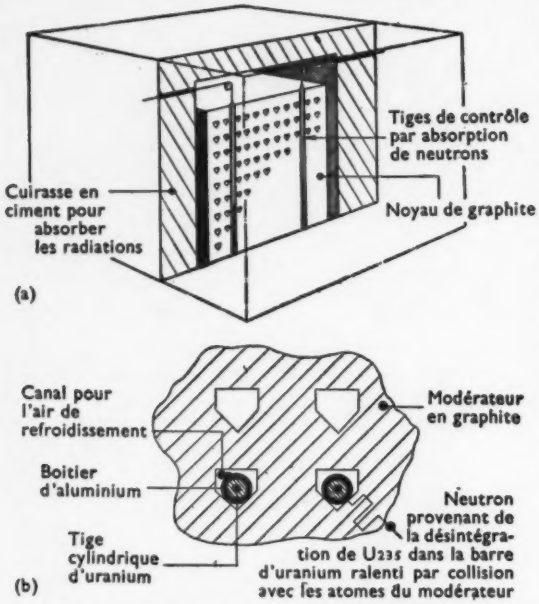


FIGURE 1 – (a) *Section transversale de la pile en graphite.* (b) *Section de la même pile, montrant la manière d'encastrer dans le modérateur en graphite, les tiges d'uranium gainées d'aluminium.*

faut donc procéder à de légères adaptations pour ajuster la position des tiges, ce que l'on réalise habituellement par un servo-moteur actionné par un compteur d'intensité de rayonnement.

Pour l'expérimentation, ce qui nous intéresse est en général le flux des neutrons, — quantité qui traverse un centimètre carré par seconde au lieu de l'expérience. Il nous faut aussi connaître le spectre de vitesse de ces neutrons. Le flux de neutrons est proportionnel à la quantité de chaleur qui se développe dans le réacteur, et plus spécialement à la quantité de chaleur développée par unité de masse de l'isotope désintégrable U235. En effet, la chaleur développée, qui provient principalement de l'énergie cinétique des fragments de la désintégration, est proportionnelle au nombre de désintégrations, qui détermine à son tour le flux de neutrons.

Les réacteurs simples, tels que le GLEEP de Harwell, dont le refroidissement est très faible, peuvent marcher aisément à une puissance moyenne de 100 kW.

Grâce à un refroidissement relativement simple par aération, le second réacteur de Harwell développe une énergie thermique équivalente à plusieurs milliers de kW. Le refroidissement par eau de l'uranium, ou un refroidissement par air plus énergique, permettent d'obtenir des productions d'énergie encore plus élevées.

Le deuxième réacteur de Harwell aura un flux maximum de neutrons lents et rapides de l'ordre de $2{,}5 \cdot 10^{12}$ neutrons/cm²/s. Le réacteur de recherches en graphite en construction au Laboratoire National de Brookhaven, Etats-Unis, aura un flux thermique de neutrons de $5 \cdot 10^{12}$ neutrons/cm²/s [1]. Les réacteurs à eau lourde ont un flux de neutrons plus élevé pour une puissance totale donnée. La cause en est l'utilisation d'une quantité d'uranium métallique notablement moindre, grâce à la possibilité d'obtenir une constante K plus grande. Donc, pour une puissance totale donnée, la puissance, par unité de masse de la substance désintégrable est supérieure et le flux de neutrons en général plus intense d'un ordre de grandeur. Le réacteur de recherche canadien de Chalk River fournit, d'après les constatations établies [2], un flux thermique de neutrons de $3 \cdot 10^{13}$ neutrons/cm²/s.

Le flux de neutrons est maximum au centre de la pile; il décroit suivant une loi sinusoïdale et n'est plus qu'au 1/5 ou au 1/10 de sa valeur à la limite du noyau réacteur. Le flux décroit exponentiellement au travers du réflecteur, tombant au 1/10 environ de sa valeur pour une épaisseur de cuirasse de 30 cm.

La région de flux intense peut être étendue à la cuirasse et amenée à sa surface en y pratiquant des trous d'expérimentation de 10 à 30 cm de diamètre. Ces trous sont remplis de graphite si l'on veut obtenir un flux élevé de neutrons lents près de la surface du réacteur. On les laisse vides si l'on veut se servir de neutrons rapides.

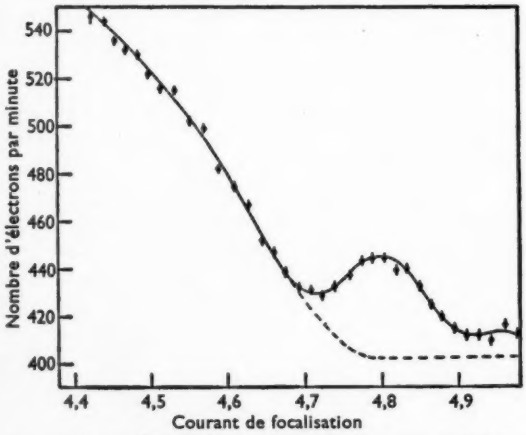


FIGURE 2 – *Répartition de l'énergie des rayons γ émis par un bloc de paraffine ayant capturé des neutrons thermiques. (D'après Elliott.)*

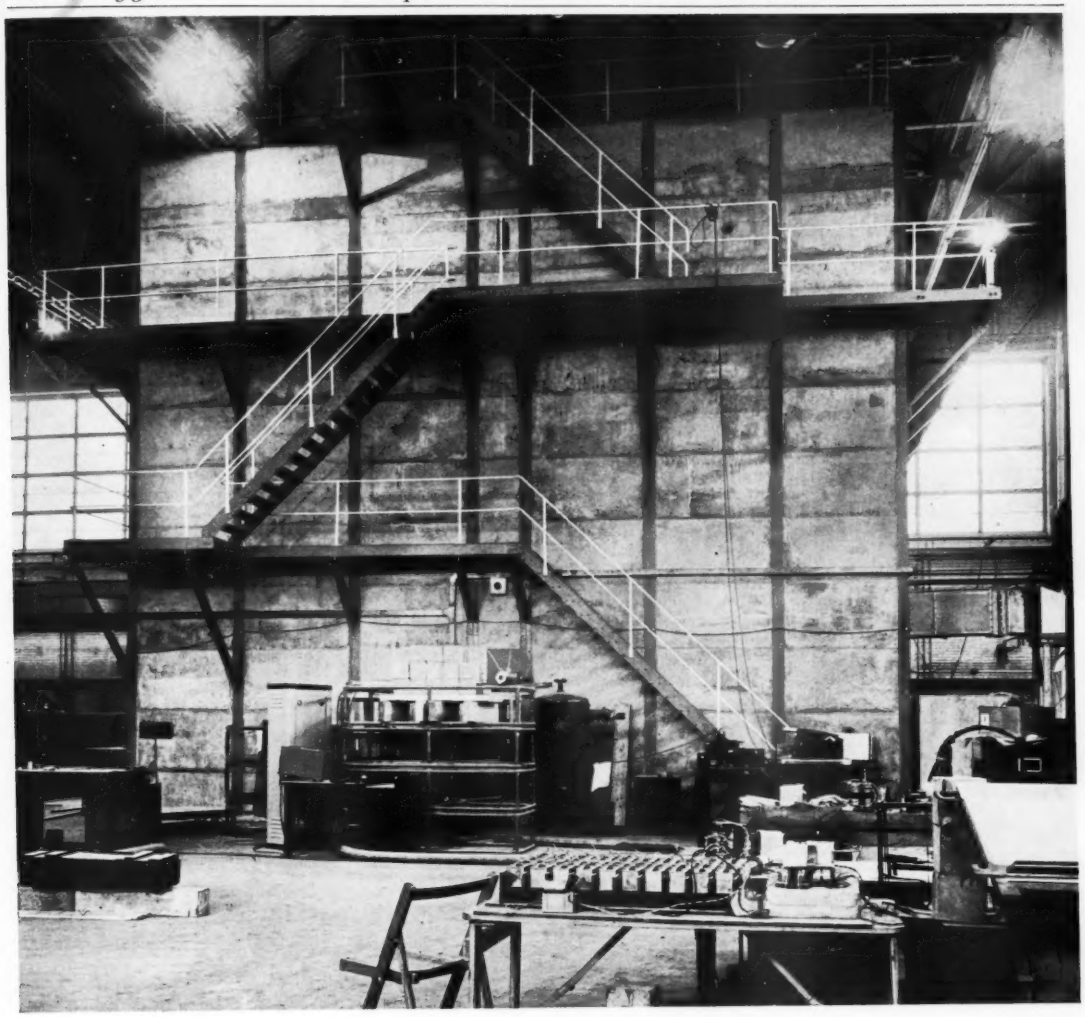


FIGURE 3 – *Vue de devant du GLEEP de Harwell.*

On introduit aussi dans la cuirasse une «colonne thermique» en graphite allant du réflecteur à la surface de la cuirasse. Les neutrons diffusent le long de cette colonne de graphite et émergeraient à la surface s'ils n'étaient pas arrêtés par un volet de cadmium qui absorbe les neutrons thermiques. Quand ceux-ci sont arrêtés, les noyaux capteurs émettent des rayons γ, si bien qu'il est nécessaire d'adapter un écran de plomb à l'extérieur du cadmium pour les absorber.

Le flux de neutrons thermiques décroit le long de la colonne thermique à mesure que l'on se dirige vers l'extérieur. Quand le flux central du réacteur est de l'ordre de 10^{12}, le flux, à 60 cm de la surface de la colonne thermique, sera d'environ $6 \cdot 10^{8}$.

EXPÉRIENCES AVEC LES RÉACTEURS

1. *Expériences avec faisceaux de neutrons*

On peut obtenir des faisceaux de neutrons lents à partir de la pile en enlevant le bouchon de ciment de l'un des trous d'expérimentation pour le remplacer par du graphite avec des tubes collimateurs convenables, ou en utilisant la colonne thermique.

Une série d'expériences intéressantes consiste à mesurer l'énergie des rayons γ produits au moment de la capture des neutrons lents par divers noyaux, ce qui fournit une mesure de l'énergie avec laquelle les neutrons successifs sont liés au noyau, et donne ainsi quelques indications concernant la structure nucléaire.

Le premier exemple de ce processus étudié, fut la capture des neutrons par l'hydrogène. Lea [3] identifia ces rayons de «capture» γ et mesura approximativement la section efficace pour la capture. Chadwick et Goldhaber [4] étudièrent le processus inverse de la photo-désintégration du deuton par les rayons γ Th.C^{11}, et de la mesure de l'énergie des protons de désintégration, déduisirent pour l'énergie de liaison du deuton une valeur de 2,1 MeV. Depuis cette époque, le procédé par photo-désintégration a été étudié avec plus de précision, au moyen de rayons γ fournis par un générateur à haut-voltage.

Récemment, Elliott et Bell [5] ont utilisé la pile de Chalk River pour déterminer très exactement l'énergie des rayons γ issus de la capture. Dans ces expériences, on plaça dans la colonne thermique de la pile un bloc de paraffine de 62,5 cm de base et 12,5 cm de hauteur. Les neutrons thermiques sont capturés dans la paraffine et produisent des rayons γ. Ces rayons sont collimatés par un cône de plomb de demi-angle au sommet 15°. Les rayons γ frappent un radiateur à uranium et éjectent des photo-électrons des couches K et L de l'atome d'uranium. Les photo-électrons entrent dans un spectromètre à rayons β, qui mesure leur énergie et permet de déduire l'énergie des rayons γ. On voit sur la figure 2 les résultats d'Elliott. On constate qu'il y a d'abord une distribution continue des électrons due à l'effet Compton produit par les rayons γ; deuxièmement deux maxima correspondant aux photo-électrons éjectés par les rayons γ des couches K et L de l'uranium.

D'après la position de ces maxima, l'énergie des rayons γ de capture est de 2,236 $\pm$ 0,005 MeV. Ce qui fut vérifié par comparaison avec la raie Th.C^{11} à 2,620 MeV. A cette énergie doit s'ajouter la légère énergie de recul des noyaux à la capture des neutrons. Nous arrivons alors, pour l'énergie de liaison du neutron, à la valeur 2,237 $\pm$ 0,005 MeV; qui est de 50 keV environ supérieure aux valeurs admises jusqu'à présent — obtenues d'après des expériences de photo-désintégration utilisant des rayons γ issus d'un générateur Van de Graaff, et liées par conséquent à la précision de l'étalonnage du générateur.

2. *Autres expériences sur les rayons γ de capture*

D'autres expériences importantes sur l'énergie des rayons γ de capture sont en cours. Elles intéressent les techniciens de l'énergie nucléaire d'un point de vue purement pratique, en raison de la nécessité pour eux de connaître l'énergie des rayons γ libérés des matériaux de structure tels que l'acier contenu dans la pile, dont dépend la forme de la cuirasse.

L'énergie des rayons γ est mesurée soit par un spectrographe à rayons β à lentille, soit avec un pouvoir de résolution supérieur par un spectrographe double où les électrons positifs et négatifs créés par les rayons à haute énergie sont focalisés séparément et la somme de leurs énergies mesurée. On voit sur la figure 4 les résultats obtenus par B. B. Kinsey [6] à Chalk River.

3. *Réactions de neutrons*

L'intensité de la source de neutrons thermiques facilite l'étude des réactions de neutrons lents.

Comme exemple intéressant, on peut citer la réaction suivante:

$$B^{10} + n = Li^{7*} + \alpha$$

Un noyau excité de Li se forme, ce qui donne naissance au rayon γ bien connu d'énergie 478 keV. Lorsqu'on observe cette raie sur le spectrographe à rayons β, elle apparaît plus large que les raies de photo-électrons éjectés d'un radiateur à feuille d'or par d'autres radiations γ de même énergie. L'élargissement peut s'expliquer par l'effet Doppler dû à l'émission de rayons γ par le noyau Li^{7*} en éjection. Comme l'éjection du noyau dure $3 \cdot 10^{-13}$ seconde, il résulte que la durée d'émission des rayons γ doit être plus courte. En mélangeant divers matériaux au bore de la cible, le noyau Li^{7*} peut être ralenti plus vite, et de cette manière, Elliott et Bell [7] ont trouvé que sa durée de vie était de $3 \cdot 10^{-14}$ seconde.

La pile de Harwell a servi à montrer que He^3 peut être

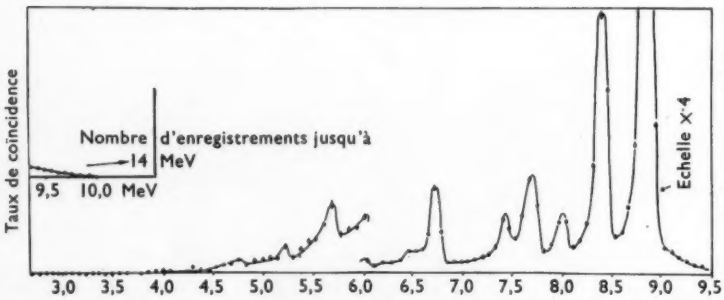


FIGURE 4 – *Spectre d'énergie des rayons γ de capture dans le nickel pur. (D'après Kinsey.)*

transformé en tritium par capture de neutrons lents.

La réaction s'écrit:

$$He^3 + n \rightarrow He^4 \rightarrow H^1 + H^3.$$

Ce cas de réaction inversée présente un grand intérêt car le tritium, produit par les réacteurs nucléaires, est la principale source de He^3 aux Etats-Unis, et en voie de le devenir pour la Grande-Bretagne.

Flowers et Batchelor [8] ont rempli une chambre d'ionisation sous pression d'hélium atmosphérique qui contient une proportion de 1,2 sur 10^6 de He^3. On détecta les protons provenant de la réaction et on mesura leur énergie par un enregistreur de pulsations électronique. On compara leur énergie et leur nombre à ceux des protons de la transmutation.

$$N^{14} + n \rightarrow N^{15} \rightarrow C^{14} + p.$$

On trouva pour la section efficace de la réaction $He^3(np)H^3$ le chiffre élevé de $3700 \cdot 10^{-24}$ cm².

4. *Expérience sur la durée de vie des neutrons*

La mesure de la durée de vie des neutrons réalisée par Snell [9] à Oakridge, et Robson [10] à Chalk River, présente un intérêt théorique considérable. On prévoit que le neutron se désagrège en proton, avec émission d'un électron négatif: $n \rightarrow p + \varepsilon^-$, l'énergie de l'électron étant de 804 keV.

L'application de la théorie classique sur la dégradation des rayons β conduit à prévoir une demi-durée de vie de 20 minutes en utilisant la première valeur de la masse du neutron, et d'environ 14 minutes avec la nouvelle valeur.

On collimate les neutrons lents issus de la colonne thermique de la pile de Chalk River en un faisceau de 8,75 cm de diamètre où passent environ 10^9 neutrons par seconde et on les fait arriver dans une chambre à vide par une mince ouverture. Un champ magnétique transversal qui se trouve derrière l'ouverture débarrasse le faisceau des électrons secondaires. A l'intérieur de la chambre à vide le faisceau passe entre deux électrodes. L'une des électrodes, cylindrique, est maintenue à + 20 kV par rapport à la terre. L'autre électrode est reliée au sol et constitue l'ouverture d'entrée d'un spectrographe magnétique à lentille mince. Le champ entre ces électrodes accélère les protons qui proviennent de la désintégration des neutrons, si bien qu'ils traversent et passent dans le spectrographe pour être focalisés sur la première électrode d'un multiplicateur électronique.

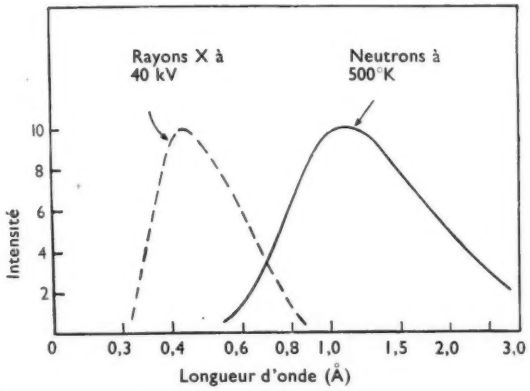


FIGURE 5 – *Répartition spectrale dans le cas de rayons X de 40 kV et celui des neutrons issus de la colonne thermique d'une pile type fonctionnant à 500°K.*

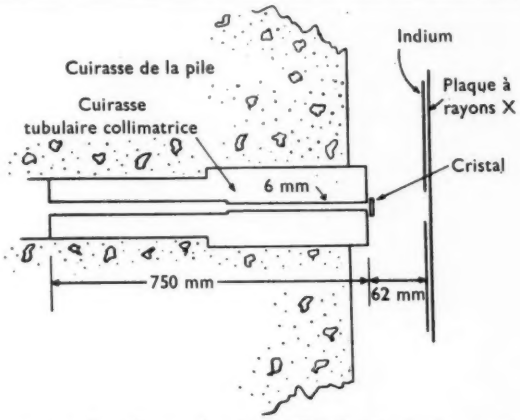


FIGURE 6 – *Illustration de la diffraction des neutrons par la méthode de Laue. (D'après Schull et Wollan.)*

L'enregistrement de fond correspondrait à 60 protons environ par minute. Un maximum de 80 protons de plus par minute s'y superposait quand on ajustait le champ magnétique pour des protons dont l'énergie correspondait à 20 kV.

D'après le nombre des protons comptés, on calcula que la demi-durée de vie du neutron était entre 9 et 18 minutes.

DIFFRACTION DES NEUTRONS

Les neutrons, comme toutes les autres particules, doivent être associés à des ondes d'une longueur:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

et comme $h = 6{,}6 \cdot 10^{-27}$ g cm²/s

$m = 1{,}66 \cdot 10^{-24}$ g

et $v = 2{,}8 \cdot 10^5$ cm/s à 500°K,

$\lambda = 1{,}4 \cdot 10^{-8}$ cm.

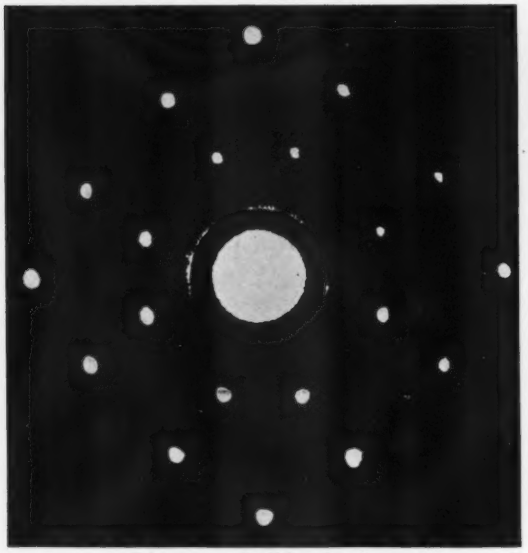


FIGURE 7 – *Diagramme de diffraction des neutrons pour le chlorure de sodium. Le faisceau de neutrons est dirigé parallèlement à l'un des axes cristallographiques.*

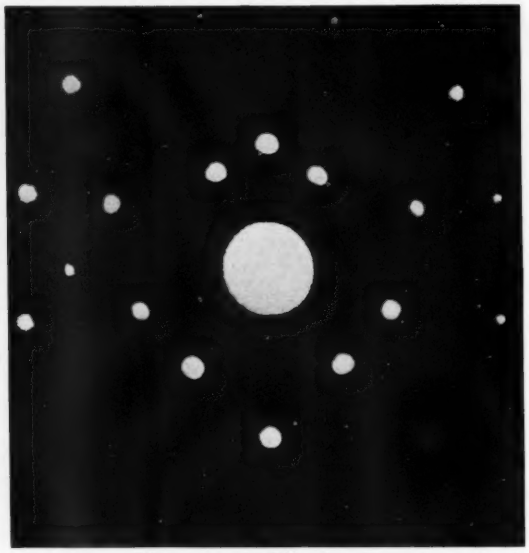


FIGURE 9 – *Diagramme de diffraction des neutrons pour le nitrate de sodium. Le cristal est rhomboédrique et par suite le diagramme est plus complexe que pour le fluorure de lithium.*

Il faut donc s'attendre à des phénomènes de diffraction très semblables à ceux qui caractérisent les rayons X.

On voit sur la figure 5 la répartition des longueurs d'ondes dans le cas des rayons X de 40 kV, et pour des neutrons sortant de la colonne thermique d'une pile type en graphite, avec une température d'environ 500° K. A remarquer, la différence notable avec les fines raies monochromatiques dans le spectre du cuivre aux rayons X.

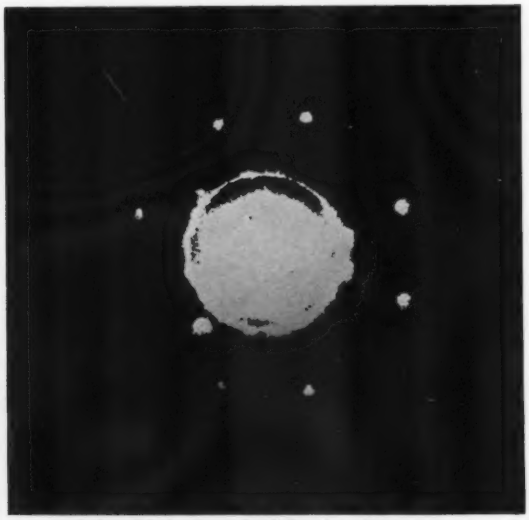


FIGURE 8 – *Diagramme de diffraction des neutrons pour le fluorure de lithium dans des conditions identiques à celles de la figure 7.*

La méthode la plus simple pour mettre en évidence la diffraction neutronique dans le cas d'une distribution continue de longueurs d'onde est celle de Laue; la figure 6 illustre le montage expérimental utilisé par Schull et Wollan [11] à Oakridge pour démontrer cet effet.

Le faisceau de neutrons thermiques est collimaté à travers un bloc-écran de 70 cm de longueur avec un diaphragme terminal de 6 mm de diamètre. On dispose un cristal sur le trajet du faisceau et la figure de diffraction est enregistrée sur une plaque à rayons X placée perpendiculairement à l'axe du faisceau collimaté, à une distance du cristal de 6,3 cm. Comme les plaques à rayons X ne sont pas sensibles aux neutrons, celle-ci est sensibilisée par une feuille d'indium placée devant. Les neutrons sont capturés par l'indium, et produisent un isotope radioactif d'où sont émis des électrons qui obscurcissent la plaque en des points où par suite de la diffraction, la densité en neutrons est élevée.

L'expérience nécessite une exposition de 10 heures, mais il est probable que l'addition à la feuille d'indium d'une substance fluorescente réduise notablement cette durée — sans doute à la durée de 15 minutes nécessaire pour les rayons X.

Sur les figures suivantes (7 et 8) on voit les

diagrammes obtenus pour un cristal de chlorure de sodium et un autre de fluorure de lithium, avec le faisceau de neutrons parallèle à l'un des axes cristallographiques. Ces cristaux présentent un réseau de cubes à faces centrées.

L'anneau intérieur de taches correspond à la réflexion sur les plans (3,1,1) et à leur permutation. L'anneau extérieur correspond à la réflexion sur les plans (4,0,2) et (4,2,2) et à leur permutation.

Sur la figure 9 on voit la figure de diffraction d'un cristal rhomboédrique de nitrate de sodium, qui est plus compliquée.

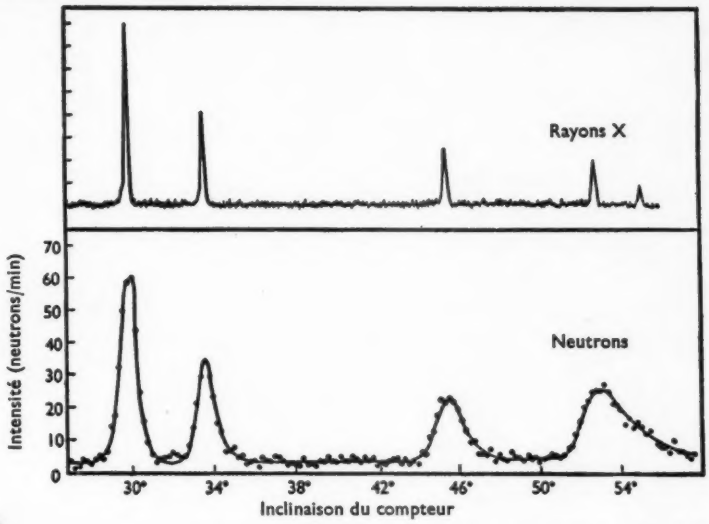


FIGURE 11 – *Comparaison des résultats de la diffraction par la poudre de cuivre, d'une part aux rayons X, d'autre part avec les neutrons.*

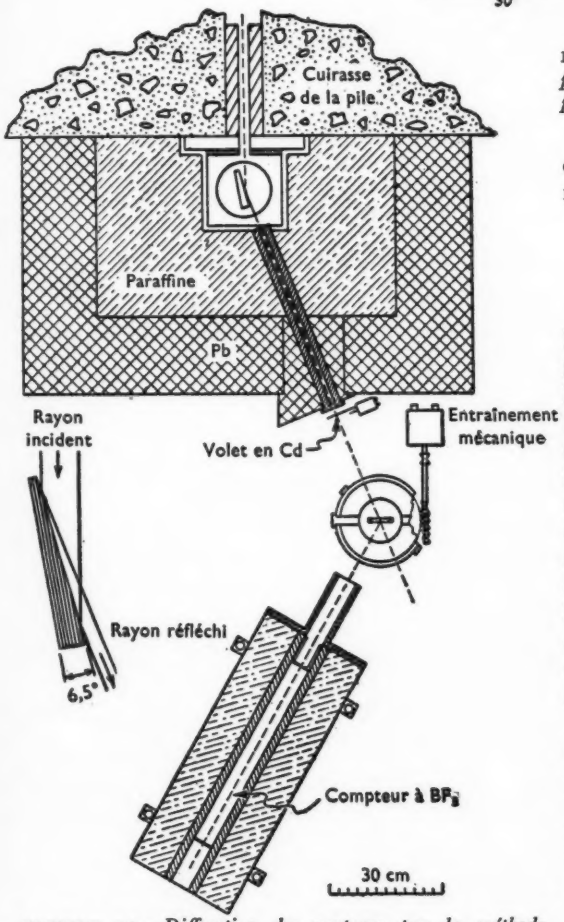


FIGURE 10 – *Diffraction des neutrons par la méthode Debye-Scherrer. Un faisceau de neutrons monochromatique est obtenu par réflexion de Bragg sur un cristal unique.*

DIFFRACTION PAR LES POUDRES CRISTALLINES

La technique la plus utile dans l'application de la diffraction neutronique est la méthode de diffraction de poudre de Debye-Scherrer [12], dans laquelle on irradie une poudre cristalline avec des neutrons monochromatiques obtenus par réflexion de Bragg sur un cristal unique. La figure 10 illustre cette méthode, et la figure 11 montre les résultats comparés obtenus pour la poudre de cuivre d'une part avec les rayons X, d'autre part avec les neutrons. On notera que la résolution obtenue avec les neutrons est plus faible qu'avec les rayons X. L'intensité des raies de rayons X décroit pour angles plus grands, en raison de la diminution du facteur d'intensité, alors qu'il n'intervient aucune diminution pour les neutrons.

La figure 12 montre les résultats obtenus pour l'oxyde manganeux. Dans ce cas, on constate une grande différence dans le tracé des maxima, due à l'opposition de phase introduite dans le cas des neutrons par les noyaux Mn par rapport aux noyaux oxygène. Dans le cas de rayons X la diffusion est en concordance de phase.

Dans les deux cas précédents, l'emploi de neutrons n'ajoute rien à notre connaissance des structures, mais les figures 13 et 14 illustrent des cas où la

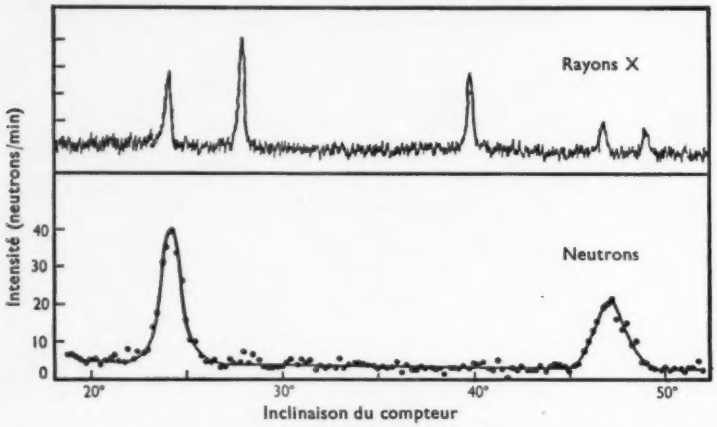


FIGURE 12 – *Comparaison des résultats de la diffraction par l'oxyde manganeux d'une part aux rayons X, d'autre part avec les neutrons.*

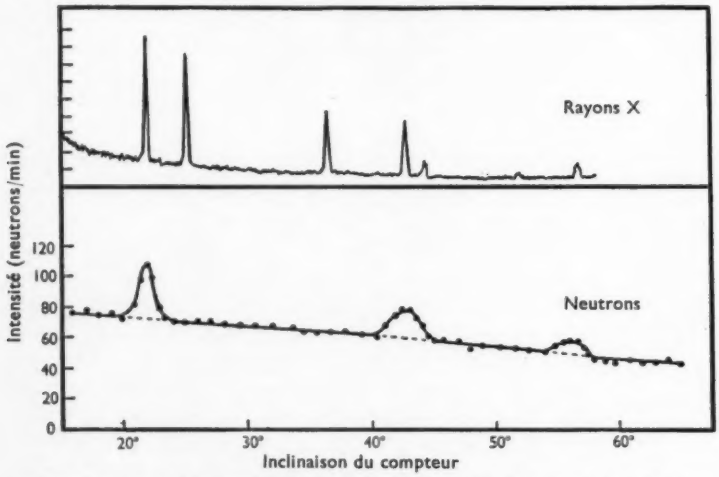


FIGURE 13 – *Comparaison des résultats de la diffraction par l'hydrure de sodium d'une part aux rayons X, d'autre part avec les neutrons.*

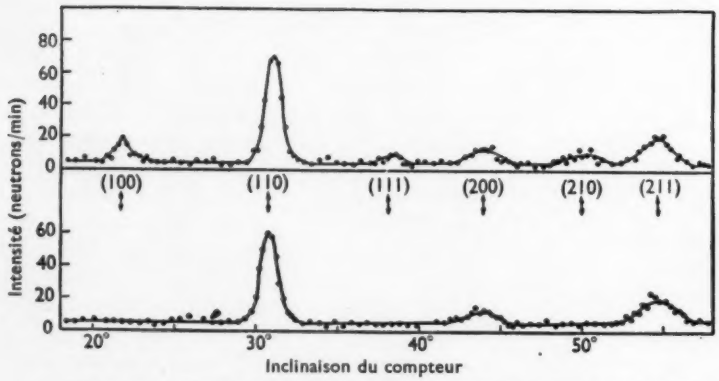


FIGURE 14 – *Comparaison des diagrammes de diffraction des neutrons pour des alliages fer-cobalt (en haut) ordonné, (en bas) désordonné.*

diffraction des neutrons peut fournir des renseignements supplémentaires. On voit sur la figure 13 le diagramme de diffraction obtenu avec l'hydrure de sodium. Le diagramme de rayons X n'a de caractéristique que la position des atomes de sodium qui assument la structure cubes à faces centrées. La différence entre le diagramme de rayons X et celui de neutrons est due à l'hydrogène; un examen détaillé montre que les atomes d'hydrogène occupent la même position que les atomes de chlore dans le chlorure de sodium.

Le deuxième exemple est l'étude des alliages où les facteurs d'intensité des composants, aux rayons X, sont si voisins qu'il est impossible de faire la part de chacun des composants sur le spectre. Considérons la structure d'un alliage fer-cobalt. On voit sur la figure 14 le diagramme de neutrons pour un alliage Fe-Co ordonné, et le diagramme différent d'un alliage désordonné. Dans la structure ordonnée les atomes de cobalt sont au centre, et les atomes de fer aux sommets de cubes élémentaires.

D'une façon générale, on peut attendre de la diffraction neutronique des contributions substantielles à l'étude des structures métalliques.

EFFET SUR LES SOLIDES DE L'IRRADIATION DES NEUTRONS

Lorsque les neutrons rapides issus de la désintégration, traversent un milieu cristallin, ils perdent de l'énergie par choc élastique avec les atomes du réseau. Ces chocs ont pour résultat de faire passer les atomes de leur position dans le réseau à des positions interstitielles. C'est ainsi qu'on a calculé

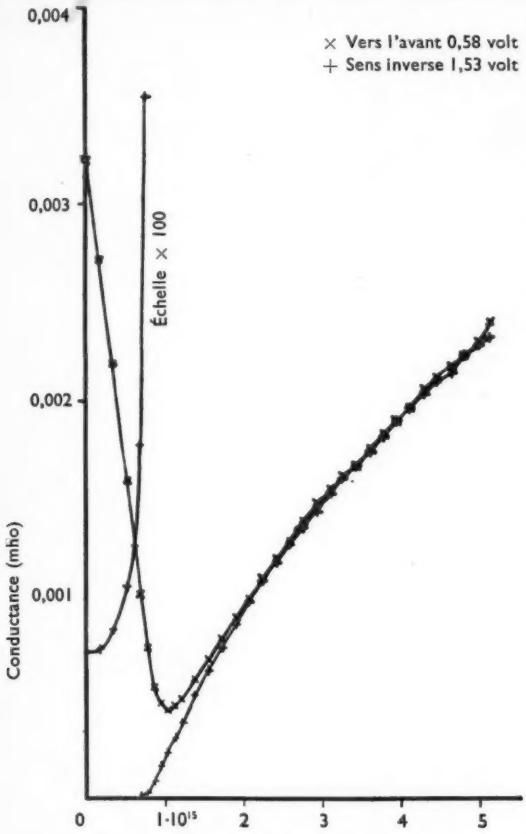


FIGURE 15 – *Effet de l'irradiation neutronique sur la conductance d'un redresseur au germanium à 40° C.*

qu'un neutron de 2 MeV au cours de son ralentissement avec production d'énergie thermique déplacerait à peu près 500 atomes dans le glucinium métallique et à peu près 2500 dans l'oxyde de glucinium.

Le résultat de cette action est de changer les propriétés physiques du milieu; en particulier, les conductibilités électriques et thermiques subissent des modifications et les propriétés mécaniques changent.

Ces phénomènes nous intéressent du point de vue de la technique de construction des piles, mais aussi pour une raison plus fondamentale. En particulier, nous voudrions pouvoir étudier le comportement des atomes déplacés, voir s'ils retournent occuper la place des atomes qui se sont déplacés, et comment la température influe sur ce processus.

On a commencé cette série d'études à Harwell, en irradiant un redresseur au germanium dans la pile. Lark-Horovitz [13] avait réalisé précédemment des expériences semblables.

On caractérise un redresseur par ses conductibilités dans les deux sens opposés. On irradia pendant 24 heures environ l'un de ces semiconducteurs dans le GLEEP. Il était à supposer que toute modification serait proportionnelle au produit du flux de neutrons par le temps à l'emplacement de l'échantillon, et par conséquent à *nvt*, *n* étant le nombre des neutrons et *v* leur vitesse. A une journée d'irradiation au centre du GLEEP correspond pour *nvt* une valeur d'environ 10^{15}.

On voit sur la figure 15 les résultats de cette expérience réalisée par T. M. Fry à Harwell. On constatera que la conductibilité «vers l'avant» tombe à son huitième environ jusqu'à un minimum pour une valeur *nvt* de 10^{15} alors que la conductibilité dans l'autre sens devient 25 fois plus grande, si bien que les deux conductibilités tendent à s'équilibrer et que le cristal cesse de jouer le rôle de redresseur. Il se comporte désormais comme un autre type de germanium dénommé P, en tant que distinct du type N normal redresseur.

Les figures 2 et 10 sont reproduites avec la permission de *Physical Review*; les figures 11–14 sont reproduites avec la permission de *Science*; les figures 5–9 sont reproduites avec la permission de la *Commission Américaine d'Energie Atomique*.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Borst, L. B., Fox, M., Gurinsky, D. H., Caplan, I., *et al.* *Phys. Rev.*, **74**, 1883, 1948.
[2] «National Research Council of Canada», Rapport CRR401, p. 1.
[3] Lea, D. E. *Proc. Roy. Soc.*, A, **150**, 637, 1935.
[4] Chadwick, J., et Goldhaber, M. *Ibid.*, A, **151**, 479, 1935.
[5] Elliott, L. G., et Bell, R. E. *Phys. Rev.*, **74**, 1552, 1948.
[6] Kinsey, B. B. Canada, Chalk River.
[7] Elliott, L. G., et Bell, R. E. *Phys. Rev.*, **74**, 1869, 1948.
[8] Flowers, B. H., Batchelor, R., Whittaker, A., et Eppstein, J. S. *Nature*, **163**, 211, 1949.
[9] Snell, H., et Miller, L. C. *Phys. Rev.*, **74**, 1217. Résumé F12, 1948.
[10] Robson. Canada, Chalk River.
[11] Schull, C. G., Wollan, E. O., et Marney, M. C. *Phys. Rev.*, **73**, 527, 1948.
[12] Schull, C. G., Wollan, E. O., Morton, G. A., et Davidson, W. L. *Ibid.*, **73**, 842, 1948.
[13] Johnson, W. E., et Lark-Horovitz, K. *Ibid.*, **76**, 442, 1949.

Les horloges de Christiaan Huygens

C. A. CROMMELIN

Christiaan Huygens inventa l'horloge à pendule en 1656 et le principe du régulateur à spirale en 1676 indépendamment de Robert Hooke; il construisit de plus une variété d'instruments à mesurer le temps, très ingénieux, quoique parfois peu pratiques, comme l'horloge à *remontoir*. Grâce à lui la théorie du mouvement harmonique a fait de sérieux progrès, mais le calcul de la période de certains de ses oscillateurs n'a été possible que bien après sa mort parce que les mathématiques de son époque étaient insuffisantes.

Chacun sait que Huygens a inventé l'horloge à pendule en 1656 et le régulateur à balancier et à ressort à spirale en 1675. La première marche sous l'effet de la pesanteur, tandis que l'autre en est indépendante ou presque. Huygens a rendu son pendule rigoureusement isochrone en fixant des joues cycloïdales à sa partie supérieure; le balancier, par contre, effectue naturellement des oscillations harmoniques isochrones.

Ces deux inventions ont subi l'épreuve du temps; elles sont toujours à la base de l'horlogerie dans le monde entier. Ce que l'on connaît moins, en général, c'est que Huygens, incertain de l'excellence de son pendule et de son balancier, inventa et essaya une série d'autres mécanismes ayant des fréquences bien définies et destinés à perfectionner ses horloges et aussi dans le but bien particulier de déterminer la longitude en mer.

Huygens naquit à La Haye en 1629, le deuxième fils de Constantijn Huygens, poète et homme d'état célèbre. Il étudia le droit et les mathématiques d'abord à l'université de Leyde (1645–7), puis au *Collegium Arausiacum* de Bréda; il revint à La Haye où il s'installa chez lui jusqu'en 1666 pour se consacrer à l'étude des mathématiques, de la mécanique, de la physique et de l'astronomie. Ces années ont produit entre autres la théorie des probabilités, les lois des collisions élastiques et de la force centrifuge, la construction de l'horloge à pendule (figure 2), l'optique géométrique théorique et pratique (polissage de lentilles) et la découverte des anneaux de Saturne et de son satellite Titan.

En 1666 le ministre français Colbert qui venait de fonder l'Académie des Sciences offrit à Huygens d'en faire partie. Huygens accepta et s'installa à Paris où il devait séjourner jusqu'en 1681. Ces années furent extrêmement fécondes. En 1673 il publia un de ses chefs-d'œuvre, l'*Horologium Oscillatorium*, dédié à Louis XIV. L'horloge à pendule y est décrite, mais Huygens donne en même temps d'amples exposés théoriques, notamment la théorie complète du pendule rigide (moment d'inertie et centre d'oscillation), les propriétés mécaniques de la cycloïde et la théorie des développantes et des développées. Ce livre est un des classiques de la mécanique: Huygens y a jeté les fondements de la dynamique des solides.

En 1673 il inventa sa machine très rudimentaire à la poudre à canon: elle pouvait mieux convenir à des démonstrations que pour l'usage pratique, certes, mais elle n'en impliquait pas moins le principe du moteur à explosion. En 1675 il créa un balancier muni d'un ressort à spirale pour servir de régulateur à un chronomètre, et la même année il donna la théorie générale des vibrations harmoniques.

Huygens reprit ses études d'optique à la suite de la découverte en 1670 par Erasme Bartolinus de la double réfraction dans le spath d'Islande; la conception d'une théorie ondulatoire de la lumière germa dans son esprit, et en 1677 il expliqua de façon complète les lois de la double réfraction à l'aide du célèbre principe qui porte son nom. L'année suivante il communiqua à l'Académie sa théorie ondulatoire de la lumière; il ne devait la publier qu'en 1690 sous forme d'un petit livre, le *Traité de la Lumière*, qui est son second chef-d'œuvre.

En 1681 Huygens rentra à La Haye. Après la mort de son père (1687) il vécut surtout à Hofwijck, une petite maison de campagne au village de Voorburg, près de La Haye, mais il avait aussi un logement à La Haye où il passait parfois plusieurs mois. Son travail le plus important au cours de ces années (en plus de l'horlogerie et du polissage des lentilles) fut l'énoncé exact du principe de la conservation de l'énergie mécanique; il l'avait toujours considéré comme un axiome et s'en était souvent servi dans ses recherches, mais ce n'est qu'en 1693 qu'il l'énonça clairement. Huygens mourut en 1695 dans son appartement de La Haye.

Comme on a pu le voir, Huygens consacra la plus grande partie de son existence jusque peu avant sa mort à inventer et à construire toutes sortes d'horloges.

La première (après l'invention de l'horloge à pendule) était une horloge à pendule conique; il l'avait sans doute inventée en 1659 ou 1660 et construite en 1667 ou 1668. Le pendule est essentiellement différent du pendule ordinaire: le poids décrit continuellement un cercle horizontal, le mouvement des engrenages et des aiguilles est continu aussi, et l'horloge ne fait pas tic-tac parce qu'il n'y a pas d'échappement. Huygens en parle dans une lettre (1667): «. . . *une autre manière d'horloge . . . avec un pendule qui tourne en rond*», et dans une autre (1668): «*J'en ay icy une du mouvement circulaire . . . qui va assez bien et sans bruit*».

Huygens a fait deux modèles de cette horloge. Nous ne connaissons la première que par deux croquis grossiers contenus dans les manuscrits à la bibliothèque de l'université de Leyde, et par la description très brève et imparfaite qui les y accompagne. Il y a un dispositif pour obtenir des oscillations isochrones, c.-à-d. ici indépendantes de l'angle d'élévation. Mais l'instrument manque plutôt d'élégance, et nous ne le décrirons pas; il ne semble d'ailleurs pas avoir été construit.

FIGURE 1 – *Christiaan Huygens à cinquante ans; relief sculpté d'après nature dans du marbre blanc par Jean-Jacques Clérion* (1697) *à Paris.* (*Musée National de l'Histoire de la Science de Leyde.*)

L'autre pendule isochrone, par contre, est des plus ingénieux, il est même vraiment beau (figure 3). On connaît la formule qui donne la période d'un pendule conique:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\alpha}{g}}$$

où l = longueur du pendule, α = angle d'élévation et g = accélération due à la gravitation. Le problème est de construire un pendule tel que $l\cos\alpha$ soit constant.

La construction de Huygens est représentée figure 6. L'axe en métal OX tourne sous l'effet du poids ou du ressort de l'horloge. A cet axe est fixée en E et soutenue par la tige métallique XD une courbe ED en métal qui a la forme d'une développée de la parabole FOF', de sorte que l'axe, la tige et la courbe forment un ensemble rigide; la parabole du diagramme qui ne représente aucune partie métallique n'est indiquée que pour faciliter la démonstration.

Le pendule est attaché en D. Au repos, le fil du pendule suit la courbe et le poids est en O, mais lorsque l'axe tourne le poids s'élève sous l'effet de la force centrifuge en un point A quelconque de la parabole; le pendule prend la forme $DP'A$ ($P'A$ est tangent à la développée et normal à la parabole), et le poids tourne à un angle d'élévation α en un cercle situé sur le paraboloïde de révolution engendré autour de l'axe.

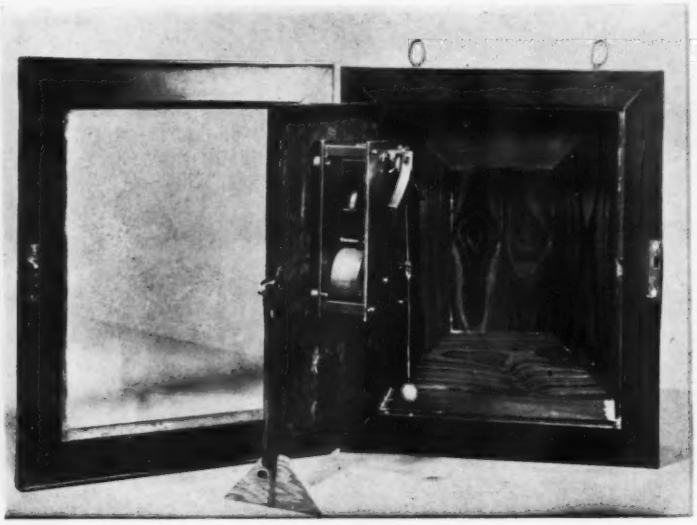
Lorsqu'on a bien compris ceci, la preuve de l'isochronisme est simple. En fait, le mouvement ne change en rien si P est maintenu de telle sorte que $l = PA$, la vraie longueur du pendule et par conséquent $l\cos\alpha = PC$, c.-à-d. la projection de la normale AP sur l'axe X. D'après la propriété bien connue de la parabole, cette projection est constante et vaut p quand l'équation de la parabole est $y^2 = 2px$.

Il s'ensuit que la période

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\alpha}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{p}{g}}$$

est constante et indépendante de α (figure 3).

Nous avons dit plus haut que Huygens avait pour but une méthode pour déterminer la longitude à bord des navires au moyen de l'horloge à pendule, mais une horloge semblable doit être montée sur une base très ferme et stable, ce qui n'existe pas à bord évidemment. Nonobstant l'échec de toutes ses tentatives, Huygens continua à créer des modèles d'horloges à pendule destinées aux voyages en mer.



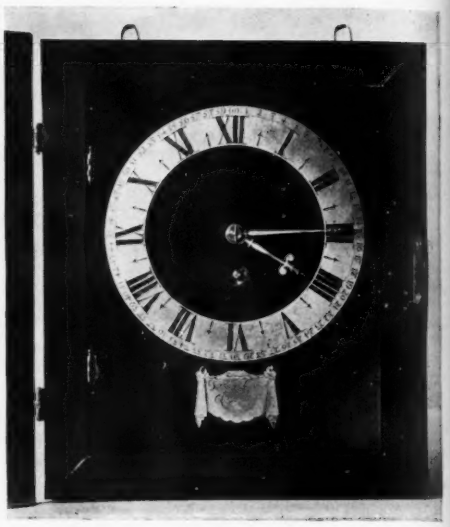


FIGURE 2 – *Horloge à pendule faite par Salomon Coster en 1657 à La Haye sous les yeux de Huygens. C'est l'horloge à pendule la plus ancienne qui existe. (Musée National de l'Histoire de la Science de Leyde.)*

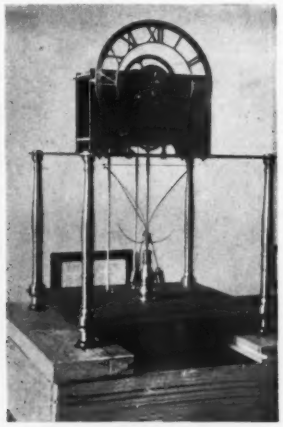


FIGURE 3 – *Reconstruction de l'horloge de Huygens à pendule parabolique conique. (Musée National de l'Histoire de la Science de Leyde.)*

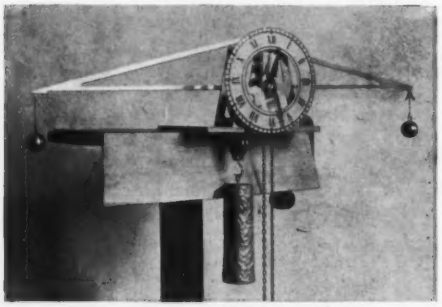


FIGURE 4 – *Reconstruction de l'horloge de Huygens dite à la «Libra isochronis recursibus». (Musée National de l'Histoire de la Science de Leyde.)*

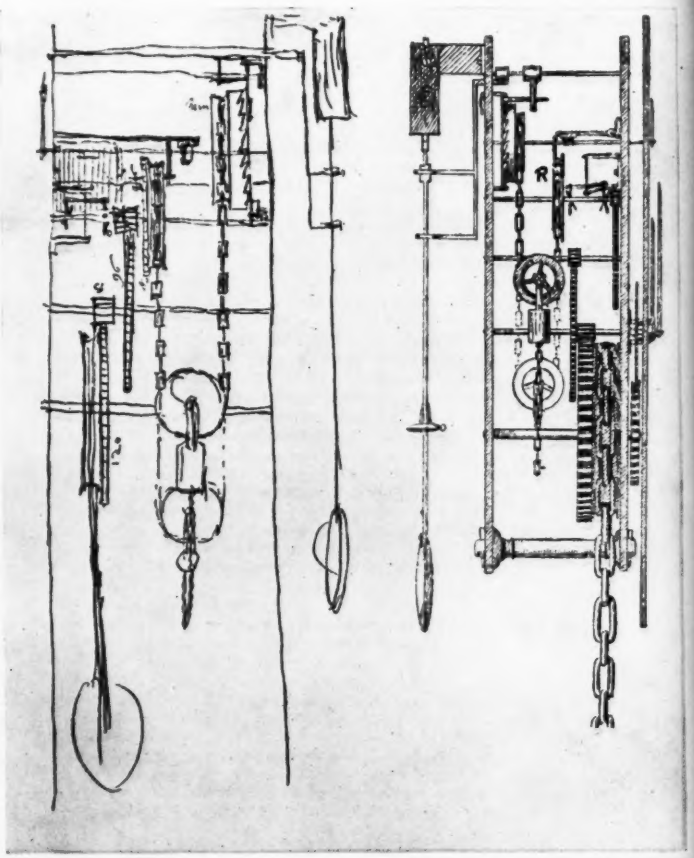


FIGURE 5 – *Horloge marine à remontoir, dessins de Huygens. (D'après les manuscrits de la Bibliothèque de l'Université de Leyde.)*

la

les

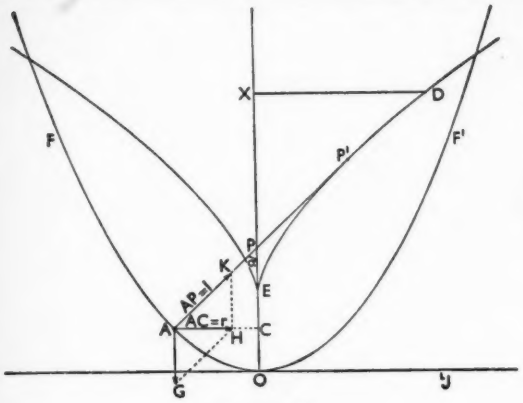


FIGURE 6

Le premier modèle est l'horloge à *remontoir* de 1664 dont Mr R. T. Gould a dit à juste titre qu'elle «contient plusieurs inventions des plus ingénieuses, compliquées, belles et inutiles que le génie humain ait produites».[1] Le court pendule, muni de joues cycloïdales, n'oscille pas sous son propre poids mais sous l'effet d'une très petite masse placée à l'intérieur de l'horloge, tandis que les engrenages et les aiguilles restent au repos (figure 5). Toutes les demi-minutes un mécanisme automatique (trop compliqué pour que nous le décrivions ici) établit le contact entre le pendule et les engrenages, la petite masse remonte rapidement sous l'effet du poids moteur du pendule et les roues dentées se mettent à tourner, mais juste assez pour avancer l'aiguille des heures et celle des minutes d'une demi-minute. Puis tout recommence, et ainsi de suite toutes les trente secondes.

L'avantage du *remontoir* réside dans le fait que le pendule se meut sous l'effet de la petite masse et qu'il n'est relié à l'échappement que par la couronne. Sa période n'est donc pas influencée par des irrégularités dans les engrenages, l'épaisseur de l'huile, etc., la seule fonction du poids principal et du train d'engrenages étant de remonter rapidement la petite masse toutes les demi-minutes.

Le second modèle de Huygens est l'horloge marine de 1672 environ (figure 7). Elle était mue par un ressort et avait trois cadrans, un grand pour les minutes et deux plus petits dans le premier pour les heures et les secondes. Elle avait une suspension à cardan afin de la rendre indépendante des mouvements du navire. La stabilité de la suspension était assurée par une lourde masse de plomb à la base. La masse du pendule, en forme de lentille, était attachée par deux fils fins munis chacun de joues cycloïdales à leur extrémité, de sorte que l'ensemble avait la forme d'un V.

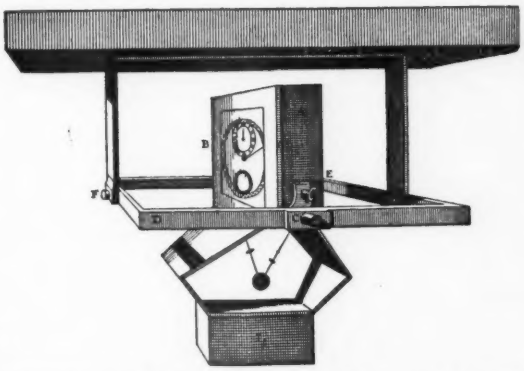


FIGURE 7 – *Horloge marine avec pendule suspendu par deux fils. (D'après un dessin de* l'Horologium oscillatorium *de Huygens.)*

En 1675 Huygens inventa un régulateur à ressort à spirale; cette horloge était donc indépendante (ou presque) de la force de gravitation. On attribue parfois cette invention — à tort, je pense — à Robert Hooke, le secrétaire bien connu de la Royal Society. Hooke a contesté la priorité de Huygens; il a parlé de ses propres «montres réglées par de ressorts», mais à ma connaissance il n'a jamais décrit la nature de ces ressorts ni la manière dont ils étaient attachés au balancier.[2] Notons en passant que le ressort à spirale est le seul qu'on ait conservé jusqu'à nos jours pour les chronomètres; il est harmonique et isochrone, ce que Huygens savait très bien.

Huygens s'aperçut bien vite que la période caractéristique du ressort à spirale varie avec la température, beaucoup plus que celle du pendule; c'est pour cela qu'il renonça à ses expériences avec le balancier à ressort, car de son temps on ignorait encore tout des artifices de compensation.

Désireux de se débarrasser du spirale tout en conservant le balancier, il suspendit celui-ci par trois fils et il dénomma le pendule ainsi obtenu *Pendulum cylindricum trichordon.* Lorsqu'on déplace le balancier (un cylindre creux assez lourd) de son point mort, il s'élève légèrement et les fils s'écartent de leur position verticale initiale. Lorsqu'on le lâche, il exécute un mouvement rotatif de va-et-vient. Ces genres de pendules étaient

[1] R. T. Gould. «The Marine Chronometer», p. 28. Londres, 1923.

[2] R. Hooke, «Cutlerian Lectures», réimpression par R. T. Gunther, «Early Science in Oxford», vol. VIII.

destinés, une fois de plus, à l'usage maritime; Huygens les construisit vers 1685 et les essaya sans doute lui-même dans le Zuiderzée. On a peine à concevoir qu'il soit revenu au pendule mû par la pesanteur, alors qu'il l'avait évité si soigneusement dans le cas du balancier à ressort.

Malgré tous ses échecs avec les horloges à pendule sur les navires, Huygens continua d'espérer et même dans les dernières années il construisit encore de nouveaux modèles dans ce but.

Ce qu'il appelle la *Libratio isochrona melior praecedente*, en 1693, est une horloge très intéressante («le balancier isochrone meilleur que le précédent», le précédent étant un modèle plus simple que nous n'avons pas décrit). Elle n'eut jamais d'utilité pratique, mais la démonstration mathématique en est très élégante (voir figure 8). Un grand et lourd balancier oscille lentement autour d'un axe horizontal sous l'effet de la pesanteur. Une tige verticale OC est attachée de façon rigide au balancier; elle porte deux joues DE, non plus cycloïdales mais ayant la forme d'une développante du cercle de rayon $r = OC$. En C, entre les joues, est attaché le fil qui supporte le poids L; ce fil avec son poids ne constitue pas le pendule car il reste vertical (ou devrait le rester) lorsque le balancier oscille. Le balancier avec la tige mais sans le poids L est sensé se trouver en équilibre indifférent; avec le poids L mais sans les joues il formerait un pendule rigide et donc à peu près isochrone; les joues rendent les oscillations rigoureusement isochrones.

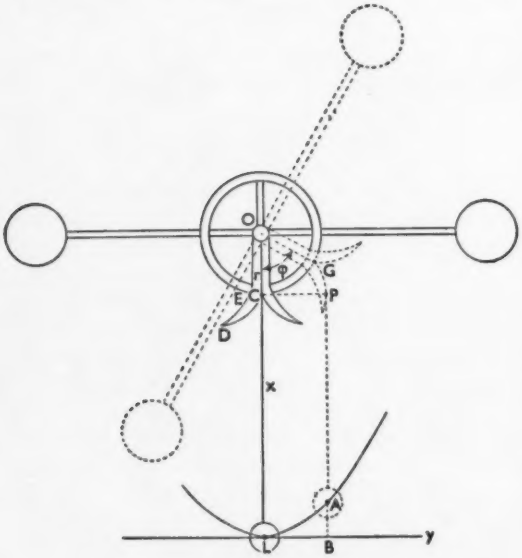


FIGURE 8

Pour démontrer ce théorème nous devons d'abord calculer la trajectoire décrite par le poids lorsque le balancier oscille. P, le point où le fil se détache de la développante GP, reste toujours à la même hauteur que C puisque le fil CP est tangent au cercle et normal à la développante. Mais,

$$\text{arc } GP = \frac{CP^2}{2r}$$

par intégration, l'équation de la développante étant donnée.

Soient OL l'axe X et LB l'axe Y, l'arc $GP = AB = x$, et $LB = CP = y$, d'où $y^2 = 2rx$. La trajectoire de L est donc une parabole de paramètre r. Le moment M de la force exercée par le poids sur P est

$$M = mgCP = mgy$$

$$(m = \text{masse du poids});$$

$y = CP = \text{arc } CG = \varphi r$, donc $M = mg\varphi r$; et comme φ est l'angle de rotation du balancier, on a

$$\frac{M}{\varphi} = mgr = \text{constante}.$$

Par conséquent les oscillations sont harmoniques et rigoureusement isochrones.

La figure 4 représente un modèle perfectionné de la dernière horloge que Huygens appelle *Libra isochronis recursibus*. Un balancier triangulaire long mais très léger oscille lentement; des poids sont fixés par des fils aux deux extrémités entre des arcs ayant la forme de développantes d'un cercle. Cette horloge représentait certainement un progrès du point de vue technique; ses oscillations étaient rigoureusement isochrones, mais la démonstration est trop compliquée pour être reproduite ici.

Dans les deux cas étudiés nous avons donné les démonstrations mathématiques modernes de l'isochronisme et non celles de Huygens; il connaissait bien la méthode analytique de Descartes et s'en servait quand il le fallait, mais il préférait les démonstrations géométriques. La plupart de ses innombrables démonstrations mathématiques et mécaniques étaient purement géométriques, très ingénieuses, rarement faciles à lire et toujours peu commodes au point de vue moderne.

Dans le cas des systèmes oscillants plutôt compliqués, on constate que la valeur de la période est invariablement omise et que Huygens ne la calcule jamais; il y a tout lieu de croire qu'il en était incapable, parce que les procédés mathématiques de son époque étaient insuffisants.

Aujourd'hui nous calculons toutes ces périodes au moyen d'un théorème simple et ingénieux qui s'applique à tous les systèmes dont les oscillations sont harmoniques et dont on peut définir la position à un moment quelconque par le seul paramètre ψ.

Dans ce cas, l'énergie potentielle E_p et l'énergie cinétique E_c peuvent s'écrire:

$$E_p = \tfrac{1}{2}A\psi^2 \quad \text{et} \quad E_c = \tfrac{1}{2}B\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2,$$

où A et B sont des constantes indépendantes du temps. La période devient alors:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{B}{A}}.$$

La démonstration s'obtient facilement en substituant pour ψ une fonction harmonique, par exemple:

$$\psi = \cos\frac{2\pi t}{T}$$

et en introduisant la condition $E_p + E_c =$ constante, c.-à-d. indépendante du temps. Au moyen de ce théorème on trouve par exemple, pour le pendule cycloïdal simple:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{4r}{g}},$$

r étant le rayon du cercle qui engendre la cycloïde; pour le pendulum cylindricum trichordon:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{Ql}{mgr^2}}$$

l étant la longueur des fils, r le rayon du balancier et Q son moment d'inertie. Pour la libratio isochrona melior praecedente:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{Q}{mgr}}$$

identique à celle du pendule rigide.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Œuvres complètes de Christiaan Huygens, publiées par la Société hollandaise des Sciences à Haarlem; éditées par la maison Martinus Nijhoff, La Haye, imprimées par la maison J. Enschedé en Zonen, Haarlem.* 22 volumes, quarto. Le vol. I date de 1888, le vol. XXII est sous presse. Les volumes XVII et XVIII sont consacrés aux recherches de Huygens concernant l'horlogerie.

[2] CROMMELIN, C. A. Six mémoires dans les périodiques néerlandais *Physica, Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde* et *Intern. Mathematisch Tijdschrift*, et dans le périodique belge *Wis- en Natuurkundig Tijdschrift* (1931–40). Ces six mémoires sont résumés, étendus et développés dans le *Journal suisse d'horlogerie*, **72**, 189, 1947, avec toutes les démonstrations mathématiques et mécaniques *in extenso*.

L'ambre et ses inclusions

G. KIRCHNER

Les inclusions de l'ambre présentent un intérêt exceptionnel pour les paléontologistes, car c'est le seul mode naturel de préservation prolongée qui laisse les spécimens dans un état aussi parfait avec un accès aussi facile. Leur importance s'est accrue dans les dernières années par la découverte d'un grand nombre d'espèces aquatiques que l'on croyait très rares auparavant.

Les arbres exsudant de l'ambre étaient des conifères, mais ils n'existent plus depuis bien longtemps. Ils nous ont légué leur résine durcie sous la forme d'une substance jaune semblable à de la pierre; on y trouve si souvent des vestiges des premières formes de la vie qu'on pourrait à juste titre appeler l'ambre le meilleur des agents naturels de préservation. Certes, la calcite, les pyrites et le silex nous ont également transmis des formes intéressantes de la vie préhistorique, mais ces substances ont modifié par diagénèse les corps capturés et en ont plus ou moins altéré l'aspect original. La résine de l'ambre, par contre, était absolument inoffensive et se solidifiait peu après avoir enrobé l'objet. Pendant ce court intervalle à l'état liquide, l'ambre n'offrait que peu de résistance aux intrusions de tout genre: insectes, plumes introduites par le vent, feuilles et parties de végétaux et petits objets en général. Il pouvait même engloutir de l'eau jusqu'à un certain point, puisqu'on y trouve des inclusions d'origine aquatique.

Les inclusions que l'on connaissait généralement jusque dans les derniers temps provenaient de la faune et de la flore des régions subtropicales, où les arbres à ambre poussaient dans des peuplements mélangés. On peut supposer que plusieurs types différents de conifères produisaient des résines semblables, mais bien qu'un grand nombre d'arbres géologiques nous soient connus en détail, nous sommes mal renseignés sur les conifères à ambre. De petites inclusions de fleurs, d'éclats de bois, d'aiguilles et de brindilles, voilà tous les indices qu'on possède, et c'est trop peu pour révéler la véritable identité des arbres.

La question a été étudiée très à fond, mais on ne peut dire qu'elle soit vraiment résolue. Les paléobotanistes n'ont peut-être pas suffisamment retenu l'hypothèse selon laquelle les arbres à ambre pourraient être des arbres des marais apparentés au cyprès des marais du tertiaire. Cette hypothèse fait l'objet des recherches actuelles, d'une part parce qu'on trouve plus souvent des brindilles de cupressinées dans les inclusions de l'ambre que des aiguilles de pins et de bouleaux, et d'autre part à cause des nombreuses inclusions d'origine aquatique récemment découvertes.

La collection d'ambre de l'université de Königsberg — malheureusement détruite au cours de la guerre de 1939–45 — comportait un grand nombre d'inclusions d'animaux; de nombreux spécimens contenant des arthropodes (insectes, centipèdes, araignées, etc.) y avaient été amenés depuis des dizaines d'années des gisements voisins où l'ambre brut est travaillé. On croyait que les rares inclusions d'animaux aquatiques étaient dues à des circonstances fortuites, car on n'avait pas encore pensé que la résine avait pu s'écouler dans l'eau pour y engloutir un animal. Cette idée ne prit forme qu'à la suite d'observations continues faites aux gisements bien connus de Palmnicken: la découverte d'inclusions aquatiques nombreuses — avec de fréquentes répétitions des mêmes spécimens — a prouvé de façon indubitable que les inclusions de ce genre n'étaient pas dues à des circonstances accidentelles. Elles proviennent tout autant de la mer que de l'eau douce, et leur nombre total atteint celui des inclusions d'origine terrestre.

Les processus biologiques et physiques à l'œuvre dans le durcissement de la résine sont encore obscurs, et l'on n'est pas encore parvenu à faire l'analyse chimique complète de l'ambre. Si l'on arrivait à le fondre sans le décomposer, on pourrait suivre et peut-être contrôler expérimentalement le processus de la solidification. A l'heure actuelle on ne peut conjecturer les propriétés de l'ambre liquide qu'en se basant sur celles du solide, car il se décompose quand on le chauffe et l'on obtient un liquide dit huile d'ambre et un résidu noir semblable à de la poix; d'autre part, sa distillation sèche donne de 3 à 8% d'acide

PLANCHE I – *Spécimens d'inclusions végétales et animales dans l'ambre.*

PLANCHE 2 – *Spécimens d'inclusions végétales et animales dans l'ambre.*

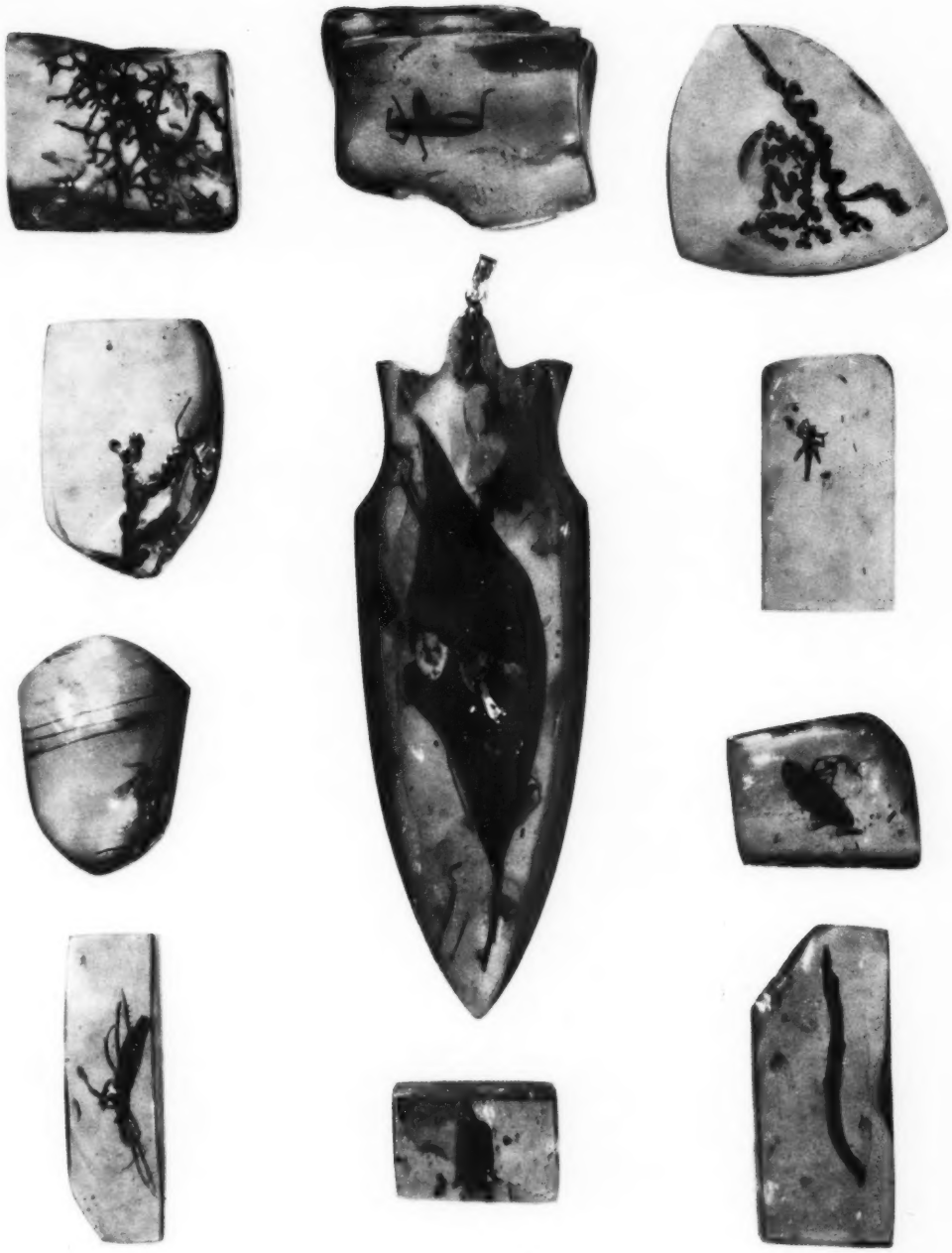
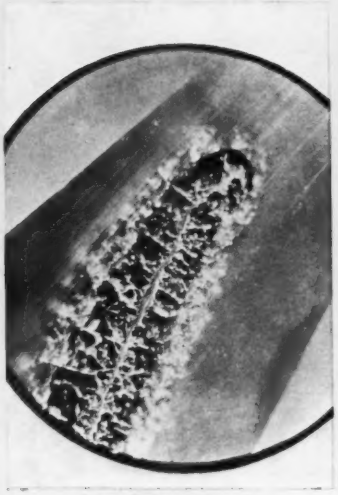


PLANCHE 3 – *Spécimens d'inclusions végétales et animales dans l'ambre, comprenant certaines espèces aquatiques.*

Hydraulis favosa



Pointe d'un corail (×5)

Helix Brochii Mayer (×9)

FIGURE 1 – *Microphotographies des inclusions dans l'ambre.*

succinique. L'ambre n'est probablement pas un corps chimique distinct, mais plutôt un mélange de diverses résines répondant à la formule globale $C_{10}H_{16}O$; on y trouve aussi des sels minéraux en petite quantité, tels que les chlorures et sulfates de calcium et de magnésium. Ces sels peuvent bien y avoir été déposés par l'eau dans le cas des inclusions aquatiques.

La résine qui s'écoulait des tissus ligneux était quasi vivante: la quantité qui s'en répandait à l'extérieur pour colmater une blessure (de 1 à 3 kg normalement, mais de 6 à 9 kg à titre exceptionnel) était dictée par un régime de solidification que nous ne connaissons pas. La solidification devait sûrement se faire très vite, puisque la résine nous a fidèlement transmis l'apparence de l'animal ou de la plante qui se trouvait justement en contact avec elle; en effet, les inclusions sont intactes, surtout lorsqu'elles sont totales, et elles ont gardé leur forme naturelle. Lorsque le flux de résine était insuffisant, l'objet est resté au bord de la masse en voie de durcissement. La brèche résultante a été soumise à l'action oxydante de l'air, la résine est devenue rougeâtre et les intempéries ont provoqué de petites fissures dans l'ambre.

Les rayons X nous apprennent que l'ambre est amorphe. Sa densité ordinaire est de 1,06 à 1,08, mais il existe aussi des échantillons plus ou moins denses que cela. La résine liquide était peut-être moins dense que l'ambre solidifié et sa tension superficielle était certainement très élevée. Du fait de sa densité, le liquide devait s'enfoncer dans l'eau, ce qui explique l'inclusion d'organismes tels que *volvocalées*, *cyanophycées*, *protococacées* et radiolaires; des gouttes d'eau même étaient parfois incluses dans des cavités à parois lisses. L'eau n'a pas été absorbée au cours de la solidification, et les gouttes trouvées dans l'ambre y ont donc été préservées depuis des millénaires. On constate en outre que les vacuoles d'algues de plancton incluses renferment toujours le liquide qu'elles contenaient lorsque les algues vivaient. Il serait intéressant de soumettre ces liquides à l'analyse microchimique: cette étude permettrait d'établir, entre autres, si l'eau de mer du tertiaire avait la même composition que celle d'aujourd'hui.

La découverte dans l'ambre d'une multitude d'inclusions aquatiques extrêmement variées a poussé les savants à étudier les mécanismes de l'inclusion et de la solidification; le champ des recherches de l'ambre s'est donc élargi, car auparavant on ne s'était consacré qu'aux inclusions d'origine terrestre.

Le premier objectif des nouvelles recherches fut de déterminer la miscibilité de l'eau avec une substance ressemblant à la résine de l'ambre. L'inclusion d'objets d'origine aquatique au cours de la solidification de la résine n'est possible que si elle n'est que partiellement miscible avec l'eau.

Le système phénol-eau est un exemple familier de miscibilité partielle, et comme le phénol forme la base de diverses substances résineuses, il était normal de s'en servir pour faire la comparaison, et il a d'ailleurs la même densité que l'ambre. A 20°, la solubilité du phénol dans l'eau est 8 et celle de l'eau dans le phénol est 28. Les deux substances sont miscibles en toutes proportions au-dessus de 66°. L'eau de la mer subtropicale tertiaire n'avait sûrement pas une température supérieure à 25° et par conséquent, si la comparaison avec le phénol est valable, on peut admettre que la résine de l'ambre et l'eau étaient partiellement miscibles dans les conditions qui existaient alors. Notons en passant que l'ambre qui s'est solidifié dans le bois ou à sa surface est bien plus dur que l'ambre contenant des inclusions aquatiques; ce dernier est si fragile qu'il se casse généralement quand on le manipule.

Les inclusions aquatiques se trouvent d'habitude dans de l'ambre aggloméré, tandis que celles d'origine terrestre n'existent que dans une variété d'ambre schisteux. Lorsque l'ambre se solidifiait à l'air libre, chaque couche de résine durcissait à sa sortie du cambium ou tissu ligneux; la résine submergée, par contre, était forcément soumise à des conditions de solidification toutes différentes.

Les gisements à ciel ouvert de Palmnicken ont fourni aux savants un matériau de premier choix, et presque tous les spécimens ont été examinés à fond; à titre d'exemples, on peut citer un tronçon de bras d'une astérie, un jeune poisson, un très bon exemple de polychète, l'empreinte d'une queue de poisson, quelques moules et plusieurs coraux. Quoique ces découvertes aient amené d'importants progrès, ces travaux sont loin d'être complets; c'est le cas notamment pour l'haliplancton et le limnoplancton dont la présence était à présumer depuis qu'on avait trouvé des algues et des coraux dans l'ambre. Ces derniers sont souvent visibles à l'œil nu, mais il a fallu soumettre de minces sections d'ambre à un examen microscopique approfondi afin d'apercevoir le plancton. Les résultats ultimes sont satisfaisants mais l'espace restreint de cet article ne nous permet d'en citer que quelques-uns.

On a pu examiner en détail quatre stades dans l'existence de l'algue d'ambre dite *discophyton electroneion*. Cette algue appartient à la famille des *cyanophycées* et sa présence apporte une des meilleures preuves qui soit qu'un des résineux au moins appartenait aux arbres de marais, car elle contient de la phycocyanine, le colorant bleu qui se trouve fréquemment dans les végétations marécageuses. On peut considérer le *discophyton* comme l'inclusion principale de l'ambre, puisqu'il y intervient à concurrence de 70% de toutes les inclusions aquatiques.

Les coraux et les hydrocorallidés occupent la première place parmi les inclusions au point de vue de la taille. Les hydrocorallidés sont un genre de polypes vivant en colonies et dont le corps en forme de tube est entouré par un squelette extérieur de calcaire aggloméré; encore récemment on les classait avec les coraux ordinaires. C'étaient des animaux exclusivement marins formant des récifs denses et massifs; ces singuliers hydroïdes sont représentés actuellement par le millépore (*millepora alcicornis*). Ils vivaient le long du littoral mais non en mer profonde: on imagine bien un morceau d'arbre à ambre, jeté dans la mer par le vent ou quelque autre phénomène naturel et rejetant sa résine sur un récif proche de la côte. Une partie de la résine reste collée aux échancrures du roc, elle y durcit et si la mer ne l'arrache pas, elle subira passivement le même sort que le récif. Par exemple, si le sol marin s'affaisse, le récif s'enfoncera et pourra entrer en contact avec des eaux chargées de fer et d'hydrogène sulfuré. On constate, en effet, que les parties dures des hydrocorallidés dans ces inclusions d'ambre ont une teneur en sulfure de fer assez proche de la composition des pyrites de fer. Il est probable que les fragments de pyrites de fer libres que l'on trouve dans certains gisements d'ambre soient les restes d'hydrocorallidés pyritiques des récifs de la mer du tertiaire.

Les coraux ordinaires sont représentés par plusieurs types. La formation de leurs branches et de leurs squelettes est très semblable à celle du corail actuel de la Méditerranée. Leurs tentacules sont lisses et non pas cannelés, mais ils sont disposés en octogones comme l'octocorail. Les spécimens conservés dans l'ambre ont certains tentacules complètement étendus, et d'autres repliés à moitié comme s'ils étaient sur la défensive: la fixation des tentacules si sensibles du corail vivant indique bien la rapidité avec laquelle l'enrobement a dû s'effectuer; un biologiste qui voudrait opérer un tel chef-d'œuvre de préservation devrait aller bien vite en besogne.

Il existe un spécimen particulièrement intéressant de *carophyllia turbinolida*. Ce corail, qui s'élabore de façon solitaire, a la forme d'une coupe renversée; on n'a pu l'identifier que parce qu'une de ses coupes s'était ouverte, accidentellement sans doute, et qu'elle s'offre à l'inspection comme si l'on en avait fait une section spéciale.

La contribution arabe à la physique

H. J. J. WINTER

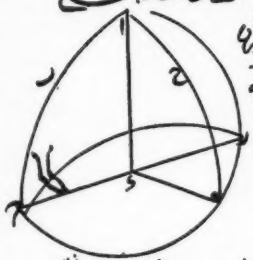
On sait en général ce qu'a été l'œuvre arabe en chimie et l'on apprécie cette œuvre; mais ce que l'on sait beaucoup moins c'est que les arabes ont également fourni un apport appréciable à l'astronomie et la physique et, plus particulièrement à l'optique, la mécanique et l'hydrostatique. Grâce à l'appui de mécènes tels que Frédéric II de Sicile et Alphonse X de Léon et de Castille, ces travaux arabes furent connus en Europe Occidentale où ils eurent une influence profonde sur les recherches.

Au déclin de l'Empire Romain, et surtout après la fermeture des écoles d'Athènes par l'Empereur Justinien (en 529 après J.-C.) l'héritage de la science grecque passa à l'Orient, grâce surtout aux efforts des Nestoriens dans de centres tels qu'Antioche, Edesse et Nisibis, et, dans une moindre proportion à la déclinante école d'Alexandrie en Egypte. Les Nestoriens furent particulièrement bien reçus à Jundishapur, capitale des Sassanides, au Sud-Ouest de la Perse; là naquit un important centre d'études où se rencontrèrent l'Occident et l'Orient et où s'affrontèrent, jusqu'au triomphe de l'Islam, la conception rationaliste de l'Univers des grecs et le mysticisme oriental. Lorsque vers 750 après J.-C. commença à Bagdad le califat des Abbassides, cette ville détint la primauté de la culture, et les savants de l'Islam purent bâtir leur science aussi bien sur les méthodes géométriques des grecs que sur les méthodes analytiques des hindous; cependant ils préférèrent les premières, qui finalement apparurent comme une véritable barrière ainsi qu'elles l'avaient été pour les grecs eux-mêmes.

La langue arabe était un instrument remarquable pour l'expansion de la pensée nouvelle, et, dans la période de 750 à 900 après J.-C. on se mit à rechercher les classiques de la physique grecque, on les traduisit avec soin et parfois on les améliora. On tira en outre du sanscrit des idées sur l'algèbre et la trigonométrie. Durant cette période de traduction, Hunayn ibn Ishaq (809–877) et ses nombreux collaborateurs rendirent utilisables quelques-uns des travaux de physique d'Aristote; Al-Kindi écrivit une version améliorée de l'«Optique» d'Euclide, Thabit ibn Qurra étudia la balance romaine et les Banu Musa (les trois fils de Musa ibn Shakir) complétèrent en 860 un traité de mécanique. Nous allons bientôt voir en effet que la contribution des arabes à la physique intéressa surtout l'optique et la mécanique, et particulièrement la première.

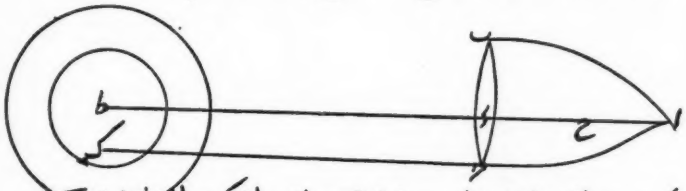
La science arabe atteignit son apogée à peu près entre les années 900 et 1100 et dans cette période nous trouvons un brillant noyau de grands esprits: hommes au savoir étendu, tolérants, grands voyageurs, qui dominaient toutes les connaissances de leur temps et les reproduisaient dans leurs écrits encyclopédiques. Citons parmi eux Ar-Razi (Rhazes), médecin célèbre, qui étudia également l'optique et les propriétés de la matière et du mouvement, de l'espace et du temps; Ibn Sina (Avicenne) (980–1037) éminent philosophe, physicien et médecin, qui écrivit un important ouvrage de physique dont Sir Francis Younghusband a obtenu une belle copie à l'oasis de Yarkand — cette copie est maintenant à la *Royal Asiatic Society*; Ibn-al-Haitham (965–1039), l'un des plus grands chercheurs de tous les temps pour l'optique, et Al-Biruni (973–1048), génie aux dons variés dont les travaux dans plusieurs branches du savoir sont restés classiques; il a fait une étude sérieuse des poids spécifiques des métaux et des pierres précieuses.

Nous accorderons une attention particulière à Ibn-al-Haitham que l'Europe du Moyen-Age connaissait sous le nom de Alhazen. Né à Basra il passa les dernières années de sa vie au Caire dans le voisinage de Al-Azhar. Son plus important ouvrage est l'«Optique» dont une traduction en latin parut en 1572 [1]. Récemment encore on croyait perdu l'original en arabe, mais on en a trouvé un manuscrit à Istamboul, manuscrit qui a servi de base aux recherches récentes de Mustapha Nazif Bey [2]. Al-Haitham n'a pas seulement amélioré les connaissances héritées des grecs sur la réflexion optique, mais il a été le premier à faire une étude soigneuse de la réfraction. Par une étude mathématique compétente il étendit au cas des miroirs concaves et paraboliques les lois de la réflexion qu'Euclide et les autres penseurs grecs n'avaient examinées qu'en ce qui concerne les miroirs plans [3]. Il entreprit, à



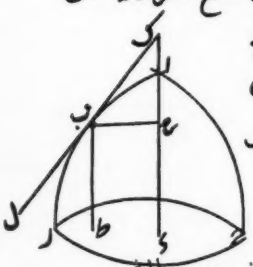
كان الفصل المشترك بينه وبين السطح المقعر هو خط اج وقد كان الفصل
المشترك بين السطح الذي انطبق عليه وصار معه سطحا واحدا وبين السطح
المقعر هو خط اح ه فخط اب ج ينطبق على خط اح ه ويصيران
خطا واحدا ويصير للسطح كله مساويا للسطح فخط اح ه
هو قطع مكافي مساو لقطع اب د وسهمه اد وذلك
ما اردنا ان نبين ه
اكل سطح مقعر تقعير المجسم المكافي ينفصل من طرف سهمه
مثل ربع الضلع القائم للقطع الذي احدثه فان كل خط يخرج موازيا لسهمه وينتهي
الى السطح المقعر وينعطف الى تلك النقطة فانه يحيط مع الخط المماس للسطح المقعر

الى جميع بسيط السطح المرائي على خطوط متوازية للسهم فاقول ان جميعها
ينعكس الى نقطة ح ولان سطح اه ب سطح مقعر تقعير المجسم المكافي



يكون جميع الخطوط الموازية لسهمه اذا انتهت اليه وانعكست الى نقطة ح
احاطت مع الخطوط المستقيمة التي تخرج في سطوحها مماسة للسطح المقعر بزوايا

خط اط ب ب ح يحيطان مع خط ك ب ل بزاويتين متساويتين كما بين
فيما تقدم ه فخط اط ب ب ح يحيطان مع الخط المماس للسطح المقعر الذي هو



الفصل المشترك بين سطحي خطي اط ب ب ح وبين السطح
المماس للسطح المقعر بزاويتين متساويتين وكذلك تبين
ان كل خط يخرج موازيا للسهم وينتهي الى السطح المقعر
وينعكس الى نقطة ح يكون هذه حالة وذلك ما اردنا
ان نبين ه ٥ كل سطح مرآة مقعر تقعير المجسم المكافي
تقابل به جرم الشمس حتى يكون سهمه مسامتا لجرمها فانه يخرج من جرم الشمس
الى جميع بسيطه شعاعان ينعكس كلها الى نقطة واحدة على سهمه ويكون بعدها

Parties d'un manuscrit de Ibn al-Haitham; la figure du centre représente les rayons parallèles du soleil frappant un miroir parabolique.

(*Reproduit avec l'autorisation de l'India Office Library.*)

l'aide d'une sorte de tour, la réalisation pratique de réflecteurs d'acier. C'est ainsi qu'il put découvrir l'aberration sphérique (bien qu'il ne sût pas considérer la courbe caustique) et, s'appuyant sur les coniques d'Apollonius, il réussit à déterminer exactement le foyer dans le cas du paraboloïde. Cette heureuse alliance entre l'analyse et la synthèse met Al-Haitham au nombre des grands hommes de la science. Ses méthodes ont influencé non seulement certains de ses successeurs en Orient mais aussi, en Occident, Robert Grosseteste, John Peckham, Roger Bacon, Witelo, Léonard de Vinci et Jean Képler. En appliquant aux problèmes de physique des méthodes rigoureusement mathématiques Al-Haitham put déterminer le point de réflexion sur un miroir sphérique concave, connaissant les positions de l'objet et de l'œil: il aboutit à une équation du quatrième degré, résolue par l'intersection d'un cercle et d'une hyperbole. L'élaboration d'un tel travail, qui comporte des équations du troisième degré, avec pour point de départ les traités d'Archimède et d'Apollonius, fut une remarquable réalisation arabe. Elle a fourni la solution de certains problèmes de physique et fut à l'origine du plus grand traité d'algèbre du Moyen-Age: l'«Algèbre» de Umar Khayyam. On attribue à Al-Haitham le premier emploi de la chambre obscure. Il étudia aussi le crépuscule et indique qu'il se produit lorsque l'angle de dépression du soleil est de 19° au-dessous de l'horizon; il trouva enfin que c'est l'objet lumineux qui est source de lumière, en contradiction avec Euclide et Ptolémée qui avaient crû que les rayons lumineux provenaient de l'œil.

Mais c'est dans l'étude de la réfraction qu'Al-Haitham a été à l'origine d'un nouvel essor. L'antiquité a fourni une remarquable étude expérimentale de la réfraction, généralement attribuée à Ptolémée, mais l'ouvrage d'Al-Haitham s'exprime par endroits comme un traité du XVIIe siècle. Il met en relation le changement de direction d'un rayon lumineux quand il pénètre dans un milieu de densité différente avec une variation de la vitesse de la lumière, celle-ci se propageant plus lentement dans un milieu de plus grande densité; il considérait deux propriétés: la transparence et la densité, la première facilitant le mouvement, la seconde le retardant. Il regardait la vitesse du rayon incident comme la résultante de deux composantes, l'une normale à la surface de séparation des deux milieux, l'autre parallèle à cette surface; ceci lui permit, en diminuant la seconde composante, de rendre compte de la position du rayon réfracté qui se rapproche de la normale lorsque le second milieu est plus dense et inversement s'en écarte si le second milieu est moins dense. Il est intéressant de remarquer que l'interprétation d'Al-Haitham est en accord avec les faits expérimentaux, ce qui n'est pas le cas de la théorie de Newton, d'environ sept cents ans plus récente. Newton, faisant l'hypothèse que la lumière est constituée de corpuscules doués d'une grande vitesse, augmente la composante normale de cette vitesse en sorte que la valeur résultante devient plus grande dans le milieu le plus dense. Les recherches de Newton sur la nature de la lumière étaient cependant plus profondes. Il y a néanmoins dans l'œuvre d'Al-Haitham cinq caractères marquants: tout d'abord, dans sa conception du trajet d'un rayon lumineux une notion claire du principe d'inertie, qui a été établi plus tard par Newton; en second lieu son travail sur le mécanisme de la réfraction révèle une connaissance avertie du rectangle des forces, bien qu'il ne semble pas, comme Newton, avoir envisagé la possibilité d'une modification de la composante normale de la vitesse; troisièmement, il est tout près du principe de Fermat du temps minimum lorsqu'il affirme qu'un rayon lumineux prends dans un milieu matériel le chemin qui est «le plus facile et le plus rapide»; quatrièmement, il connaissait la première loi de la réfraction selon laquelle le rayon incident, le rayon réfracté et la normale à la surface de séparation sont dans un même plan; et enfin, bien qu'il n'ait pas trouvé la seconde loi, découverte en 1621 par Willebrord Snell, ses résultats expérimentaux attestent qu'il savait se servir de son appareil et se rendait pleinement compte que des expériences sont nécessaires à la science. Il est regrettable qu'Al-Haitham n'ait pas su les relations trigonométriques. Les chercheurs arabes connaissaient déjà la méthode grecque qui calculait à l'aide des cordes, ainsi que le sinus d'un angle; en particulier Al-Battani, savant d'origine sabbéenne mort en 929 après J.-C. avait déjà étendu la trigonométrie aux triangles sphériques. Al-Haitham étudia également le grossissement produit par une lentille et le phénomène de réfraction atmosphérique.

En 1258 Nasir ad-Din at-Tusi fut nommé astronome principal et un observatoire fut construit à Maraghah dans l'Azerbaidjan sur l'ordre du Mongol Hulagu Khan. Avec l'aide d'assistants venus de Damas, Mausil, Tiflis et Kazvin, At-Tusi fabriqua de beaux appareils d'astronomie admirablement travaillés et compléta les fameuses tables astronomiques d'Ilkhanian. Comme on peut s'y attendre At-Tusi s'intéressa aussi à l'optique et, traduisant l'«Optique» d'Euclide, il traita de la réflexion; il ne semble pas avoir compris la réfraction, il était d'abord un géomètre, enfermé dans les méthodes euclidiennes. Un de ses élèves étudia la réfraction de la lumière dans une goutte de pluie. Al-Farisi, au début du XIVe siècle fit un résumé d'une copie autographe d'Al-Haitham et y ajouta un très intéressant commentaire d'après ses propres observations.

Grâce à l'enthousiasme et à la largeur d'esprit de Frédéric II de Sicile, qui fut un lien entre l'Islam et la chrétienté latine, les savants arabes, pendant la première moitié du XIIIe siècle avaient porté leur attention sur certaines questions se rapportant à la réfraction optique. L'influence de Frédéric II se prolongea, longtemps après qu'il eut été enterré en 1250 à Palerme, bien avant dans le XIVe et le XVe siècles. Avec Raymond Ier, Archevêque de Tolède au XIIe siècle, il fut l'un de ceux qui inspirèrent la traduction en latin des traités arabes, dont quelques-uns de physique. Dans sa correspondance avec les savants du monde arabe, Frédéric II proposait des questions telles que celles-ci: pourquoi les rames plongées dans l'eau paraissent-elles courbées ? Pourquoi Canopus paraît-elle plus grande lorsqu'elle est près de l'horizon même si l'atmosphère ne contient pas d'humidité ? Enfin Frédéric II favorisa encore la pénétration en Europe des dernières découvertes arabes en fondant, en 1224, l'Université de Naples et sa collection de manuscrits arabes, et en transmettant des traductions à Bologne et à Paris. Ce n'est pas douteux que les théories optiques de

Witelo et Roger Bacon ne doivent quelque chose à l'Université de Paris.

Vers 1150 la science arabe était en général sur son déclin. C'est à ce moment cependant que porta ses fruits le mouvement de recherches dont les Banu Musa avaient été les initiateurs au IXe siècle; c'est-à-dire les applications arabes de la mécanique des grecs. Il y eut peu de nouveauté dans la théorie, mais de belles et ingénieuses inventions, basés sur la «Mécanique» de Héron d'Alexandrie et la «Pneumatique» de Philon de Byzance. On accorda une grande attention à la détermination des poids spécifiques par application du principe d'Archimède, aux problèmes posés par l'utilisation du levier et de la balance, aux clepsydres ou horloges à eau, aux roues hydrauliques, aux fontaines et à divers autres instruments. Dès l'an 807 le calife Harun ar-Rashid avait présenté à Charlemagne une remarquable horloge à eau. Vers le milieu du XIIe siècle on installa une horloge à Damas dans le Bab-Jairun, et cette horloge est devenue célèbre: Ibn as-Sa'ati a écrit un livre sur elle en 1203. Les deux meilleurs ouvrages de mécanique arabes furent écrits tout au début et à la fin du XIIe siècle. Le premier traitait de la mesure du temps, de la théorie du levier, (poursuivant le travail de Thabit ibn Qurra) de la capillarité et de la pesanteur que l'on supposait dirigée vers le centre de l'univers et s'exerçant sur la mer et l'atmosphère; il donnait également des tables des poids spécifiques des liquides et des solides. Al-Jazari était plus technologique, s'occupait surtout des clepsydres, des fontaines et autres inventions basées sur les principes de l'hydraulique. L'œuvre magnifique des califes de la dynastie des Abassides tel Al'Ma'mun (813–833) à Bagdad suscita des émules en Espagne au siècle suivant dans la dynastie des Ommeyades, en particulier Al-Hakam à Cordoue (961–976). Cordoue était au Xe siècle le «joyau du monde», le foyer culturel de l'Europe, on pouvait y marcher en ligne droite pendant dix milles à la lumière des lampes publiques. Les arabes d'Espagne, en particulier Al-Zarqali (1029–1087) fabriquèrent de bons appareils scientifiques, comprenant des astrolabes. L'astrolabe tient une place essentielle dans l'astronomie du Moyen-Age. Une discussion sur ses mérites sortirait du cadre de cet article, mais cela montre à quelle habileté étaient parvenus ceux qui fabriquaient ces instruments et qui fréquemment étaient à la fois physiciens et astronomes. Cette habileté s'exerçait encore en 1437 à l'observatoire de Samarkand.

En dehors de l'optique et de la mécanique le Moyen-Age a fait peu de choses en physique. Les autres branches ne s'étaient pas dégagées de diverses spéculations métaphysiques et n'étaient généralement pas réduites à une expression mathématique. Au VIIIe ou IXe siècle Jabir ibn Hayyan fit des commentaires sur la nature de la force magnétique. Bien que la découverte du compas magnétique soit d'origine chinoise, les arabes furent les premiers à l'utiliser couramment dans la navigation au Moyen-Age; il fait l'objet d'une mention d'Alexandre Neckam (mort en 1217). Si l'on excepte les recherches marquantes d'Al-Haitham, la physique était en général de caractère aristotélien, comme le montrent beaucoup de travaux encyclopédiques et philosophiques des arabes. La «Météorologica» d'Aristote fut à l'origine d'une «météorologie» très générale comprenant non seulement ce que nous définirions aujourd'hui comme météorologie mais aussi la perspective, y compris l'optique physique et l'optique physiologique. L'attention fut attirée par les phénomènes naturels de grande envergure, comme les marées, et l'on fit avec succès beaucoup de mesures de géographie physique; la théorie de l'arc-en-ciel en particulier figure dans la physique arabe d'abord en rapport avec la réflection sur la base des idées d'Aristote et d'Euclide, et finalement s'incorporant à la théorie de la réfraction.

BIBLIOGRAPHIE

[1] «Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri septem», Bâle. 1572.

[2] NAZIF BEY, M. «Al Hasan ibn al-Haitham», 2 vols., en arabe. Le Caire. 1942–3.

[3] WINTER, H. J. J., et ARAFAT, W. *J. Asiat. Soc. Beng.*, **15**, 1–2, 1949.

[4] «De Crepusculis et Nubium Ascensionibus», traduct. de Gérard de Crémone. Lisbonne. 1542.

L'hérédité chez les pneumocoques

HARRIETT EPHRUSSI-TAYLOR

L'un des buts principaux du généticien a toujours été le contrôle direct de l'hérédité, par opposition à la sélection des éleveurs qui perpétue des races à caractéristiques constantes. La découverte d'un agent spécifique — un acide désoxyribonucléique hautement polymérisé — capable de transformer une race de pneumocoques en une autre de caractères sérologiques différents est donc très importante. L'article montre comment cette découverte peut être considérée comme un exemple de contrôle direct d'un caractère héréditaire.

Les études de génétique nous conduisent à penser qu'on doit probablement trouver dans toutes les cellules des structures spéciales qui ne peuvent se former *de novo* et sont exactement «copiées» durant la multiplication cellulaire pour former le substratum héréditaire de la nouvelle cellule. Si une partie de ces structures se perd, la cellule ne peut pas elle-même la remplacer. En plus d'être responsables de leur propre reproduction, ces éléments possèdent la propriété de déclencher des réactions conduisant à la formation des structures et à l'accomplissement des fonctions caractéristiques d'un organisme. Le substratum héréditaire est composé d'unités, au moins chez les organismes supérieurs, qu'on peut différentier à la fois par leurs activités physiologiques spécifiques et leurs localisations dans les structures cellulaires. Ces unités, appelées gènes, ont les dimensions de grosses molécules et leurs structures diffèrent probablement les unes des autres à l'échelle moléculaire. Déjà on peut voir dans ces unités héréditaires les agents d'un système conservateur, la stabilité génétique ne saurait exister sans mécanisme assurant à chaque cellule nouvellement produite un stock complet de ces déterminants génétiques. On sait qu'un tel mécanisme existe chez les plantes supérieures et les animaux où les gènes sont alignés en longues structures appelées chromosomes. Le nombre de ces structures filiformes et leur taille diffèrent entre les espèces; ce sont des caractères spécifiques. Avant la division cellulaire, le matériel génétique des chromosomes est doublé; ceux-ci se clivent longitudinalement, si bien que chaque filament nouveau contient au moins une copie de chaque gène. Par le processus de mitose, chaque cellule fille recevra un des deux filaments formés à partir de chaque chromosome dans la cellule en division.

C'est chez les organismes à reproduction sexuée qu'on observe la plus grande variabilité génétique. Il en est ainsi, parce qu'au cours de la reproduction sexuelle une moitié seulement du matériel chromosomique de chaque parent est utilisée pour former l'œuf fécondé. Ainsi le nouvel individu tire de deux individus différents son matériel génétique qui se compose d'une partie seulement du stock génétique de chacun des parents. Le nouvel organisme n'étant pas une simple somme du matériel génétique total de chacun des parents mais représentant un assortiment d'une moitié seulement de ce matériel, de nouvelles combinaisons de caractères se produisent pour chacun des individus issus d'un même couple de parents. Actuellement l'homme ne peut contrôler quelles sont les parties du matériel génétique qui passeront dans les descendants, chez les organismes à reproduction sexuée. Cependant, en suivant des méthodes scientifiques d'élevage, il peut accroître la fréquence des propriétés désirées dans la descendance et souvent produire de vraies races domestiques dans lesquelles le caractère désiré est toujours présent, aussi longtemps que les croisements sont faits suivant des règles strictes.

L'hérédité opère donc, dans son ensemble, de manière à conserver les formes et les fonctions des organismes à l'intérieur de certaines limites, et pourtant de nouvelles caractéristiques apparaissent de temps à autre. Dans la reproduction de chaque unité héréditaire ou gène il y a une certaine probabilité pour que le processus de copie ne s'effectue pas normalement et qu'un gène à propriétés nouvelles apparaisse. Cette probabilité est très faible et donc son estimation difficile. Cette mutation spontanée des unités héréditaires est une source de nouveaux types de matériel héréditaire.

L'homme ne pouvant déterminer à l'avance quels gènes passeront dans la descendance des organismes à reproduction sexuée, on a souvent dit qu'il ne possède pas le contrôle des mécanismes génétiques. La validité de cette affirmation dépend naturellement de ce qu'on entend par contrôle. Puisqu'on a pu créer des lignées de

plantes et d'animaux qui maintiennent dans leur descendance certaines caractéristiques désirées, il est clair que la substance héréditaire des organismes peut être manipulée pour le bien de l'humanité. Ceci représente un réel degré de contrôle sur l'hérédité des êtres vivants. Mais on peut avoir en vue un type très différent de contrôle qu'à vrai dire les généticiens ont envisagé pendant de longues années. Il apparaît probable, d'après les recherches biologiques de tous ordres, que les gènes accomplissent des opérations très spécifiques dans l'organisme. On peut imaginer qu'un jour nous aurons la possibilité d'altérer spécifiquement le gène et ainsi de lui faire remplir certaines fonctions nouvelles désirées. Actuellement il n'y a pas de preuves qu'un tel contrôle ait jamais été exercé. Par l'usage des rayons X et d'autres agents variés il a été possible d'accroître énormément — au hasard — la fréquence des mutations, et ceci, en retour, a donné un nouveau degré de contrôle sur l'hérédité. Il a permis à l'homme d'accroître le réservoir naturel de la variabilité inhérente aux systèmes génétiques en produisant davantage de gènes nouveaux à partir desquels on peut sélectionner ceux que l'on désire. Ce contrôle n'atteint cependant pas le but fixé.

C'est sur ce terrain placé en dehors des efforts des généticiens modernes pour atteindre au contrôle des systèmes génétiques que nous examinerons la nature d'une découverte récente: la transformation des types de pneumocoques.

Les pneumocoques virulents s'entourent de capsules de nature polysaccharidique qui leur permettent de proliférer dans leurs hôtes animaux sans être détruits par la phagocytose. La faculté de synthétiser une capsule est un caractère héréditaire constant. Dans la nature, on peut trouver différentes races de pneumocoques qui diffèrent les unes des autres par la structure chimique de leur polysaccharide capsulaire. La formation d'une capsule d'une structure chimique donnée est, aussi, constante dans une lignée donnée et constitue donc un caractère héréditaire. Quand la bactérie encapsulée est injectée aux animaux, des anticorps distincts se forment contre chaque type de polysaccharide capsulaire, reflétant les différences de structure chimique de la capsule. En conséquence, les méthodes sérologiques permettent de classer les souches de pneumocoques par groupes. Dans un groupe donné toutes les races forment le même polysaccharide capsulaire, les souches particulières pouvant différer vis-à-vis d'autres caractères.

De temps en temps, il se produit une mutation dans le mécanisme de formation des capsules; il apparaît, alors, des pneumocoques qui manifestent un pouvoir de synthèse de leur capsule diminué, ou même ont perdu totalement ce pouvoir. A partir de tels mutants on peut établir des lignées de pneumocoques dans lesquelles le pouvoir de synthétiser la capsule est diminué de façon permanente, ou des lignées dans lesquelles les capsules manquent totalement. Les états mutés sont donc héréditaires.

Griffith découvrit que les pneumocoques non encapsulés peuvent de nouveau former des capsules lorsqu'on les injecte à une souris en même temps que des pneumocoques encapsulés tués par la chaleur [1]. Cette découverte était particulièrement remarquable puisque les expériences de Griffith apportaient la preuve que la capsule induite est de même structure chimique que celle produite par la bactérie tuée, et que cette structure est indépendante de l'origine du pneumocoque non encapsulé chez lequel se produit l'induction. Ainsi une bactérie non encapsulée dérivée d'une race encapsulée de type II est amenée à synthétiser la capsule d'une race de type III, si l'induction se fait en présence de bactéries de type III tuées par la chaleur. C'est à la suite de cette observation que le phénomène a reçu le nom de transformation des types de pneumocoques, ou TP.

Au début, il semblait vraisemblable que la transformation était due à la présence d'un agent spécifique dans la bactérie encapsulée. Ce point de vue se confirma quand l'étude de ces transformations fut entreprise au laboratoire d'Avery, à New-York. On vit bientôt qu'on pouvait réaliser la transformation avec des extraits de pneumocoques encapsulés entièrement dépourvus de corps cellulaires, agissant *in vitro* sur des cultures de pneumocoques non encapsulés en développement sur un milieu spécial. Après onze ans d'études sur l'agent d'induction, Avery et ses collaborateurs MacLeod et McCarty publièrent les résultats de leurs recherches sur la nature chimique de la substance inductrice [2]. Chimiquement et biochimiquement on arrive à la conclusion que l'agent de transformation (TP) est probablement un acide désoxyribonucléique hautement polymérisé. La publication de ces résultats suscita de nombreux commentaires à la fois de la part des généticiens et des chimistes. Depuis les expériences de Griffith, les généticiens s'étaient intéressés au phénomène de transformation, il semblait en effet que, pour la première fois, l'homme induisait une modification héréditaire

spécifique dans un organisme. Que la substance inductrice puisse être un acide nucléique de type désoxyribose souleva un grand intérêt, car il s'agit d'une substance connue chez les plantes supérieures et les animaux, uniquement dans les chromosomes. Pendant longtemps les généticiens ont discuté sur la nature chimique des gènes, et comme on savait, depuis longtemps, que les protéines possèdent des structures et des propriétés biologiques spéciales, on supposait que les parties protidiques des chromosomes étaient différentiées et responsables de la spécificité des gènes. Avant la publication des études sur le TP des pneumocoques, il n'y avait pas de raison de supposer que les molécules d'acide nucléique des chromosomes eussent un rôle dans la détermination des propriétés spécifiques de chaque gène. Chimistes et biochimistes furent également frappés par les études sur le TP des pneumocoques: en effet, sur la foi de preuves chimiques sans doute insuffisantes, on avait supposé que les acides désoxyribonucléiques isolés de sources aussi différentes que le germe de blé et le thymus de veau étaient chimiquement identiques. Si l'activité de transformation des extraits contenant l'acide désoxyribonucléique est entièrement due à cette substance hautement polymérisée, il s'ensuit nécessairement que les acides nucléiques de type désoxyribose doivent avoir des spécificités biologiques diverses. Ce devint une évidence après les expériences de McCarty et Avery [4] qui purent isoler, sous forme purifiée, les désoxyribonucléates des trois types différents de pneumocoques encapsulés. Chaque préparation induit les pneumocoques non encapsulés à former des capsules, mais chacune transforme les bactéries en un type différent. La nature du polysaccharide trouvé dans la capsule induite dépend toujours de la source de l'extrait transformateur. Ainsi le type de la nouvelle activité synthétique acquise par la bactérie transformée est déterminé par l'origine de l'acide nucléique avec lequel on réalise l'induction. On doit noter aussi que l'acide désoxyribonucléique du thymus de veau est totalement inactif comme agent d'induction.

Naturellement, on ne peut être absolument certain qu'aucune autre substance ne contribue à l'activité spécifique des extraits d'acide désoxyribonucléique. Cependant, des études sérologiques, chimiques et biochimiques effectuées par McCarty et Avery [3] et par Hotchkiss [5] indiquent qu'aucune autre substance organique complexe autre que l'acide désoxyribonucléique n'est présente dans ces extraits en quantité détectable. De plus, l'activité biologique est totalement détruite par tout agent qui dépolymérise l'acide nucléique. Ainsi, l'activité de transformation est rapidement supprimée par la désoxyribonucléase cristallisée, dépolymérase spécifique, alors que les enzymes protéolytiques et la ribonucléase la laissent intacte. Il n'existe aucune raison de supposer que l'acide désoxyribonucléique polymérisé n'est pas le seul agent responsable de l'activité biologique des extraits de pneumocoques.

Considéré comme agent biologique, le TP capsulaire du pneumocoque présente quelques aspects intéressants. Il possède une action double sur la bactérie transformée: il induit non seulement la formation de la capsule, mais aussi sa propre reproduction par la bactérie. Ainsi une fois transformée, la bactérie passe une copie de l'agent transformateur à sa descendance qui formera aussi des capsules. Le TP capsulaire possède donc les propriétés attribuées aux gènes qui ont ce même double rôle. Nous pouvons alors nous demander si l'agent transformateur capsulaire n'est pas simplement une partie du substratum génétique du pneumocoque encapsulé, extrait sous une forme active et introduit dans la bactérie non encapsulée. Si tel est le cas, nous devons nous attendre à trouver d'autres ressemblances entre le TP capsulaire et les gènes, ainsi qu'à découvrir d'autres agents comparables à des gènes dans les préparations d'acide désoxyribonucléique.

Très rarement, dans la bactérie, l'agent capsulaire de transformation subit des mutations spontanées très analogues à celles des gènes [6, 7]. Ces mutations conduisent à des agents capsulaires de transformation dont les activités biologiques sont modifiées (voir figure 1). Les agents mutés peuvent être introduits dans des pneumocoques non encapsulés par la technique de transformation où ils induisent la formation de capsules modifiées (voir figure 2). Les pneumocoques transformés copient fidèlement l'agent muté et passent les copies à leur descendance comme dans les transformations réalisées avec un TP capsulaire non muté.

On a aussi trouvé qu'une préparation d'acide désoxyribonucléique possède plusieurs activités distinctes de transformation. Le désoxyribonucléate des pneumocoques de type III, par exemple, contient au moins deux et peut-être trois sortes connues d'agents de transformation. L'une induit la formation du polysaccharide capsulaire dans les souches non encapsulées et une deuxième, un changement morphologique distinctif dans une souche particulière de pneumocoques (voir

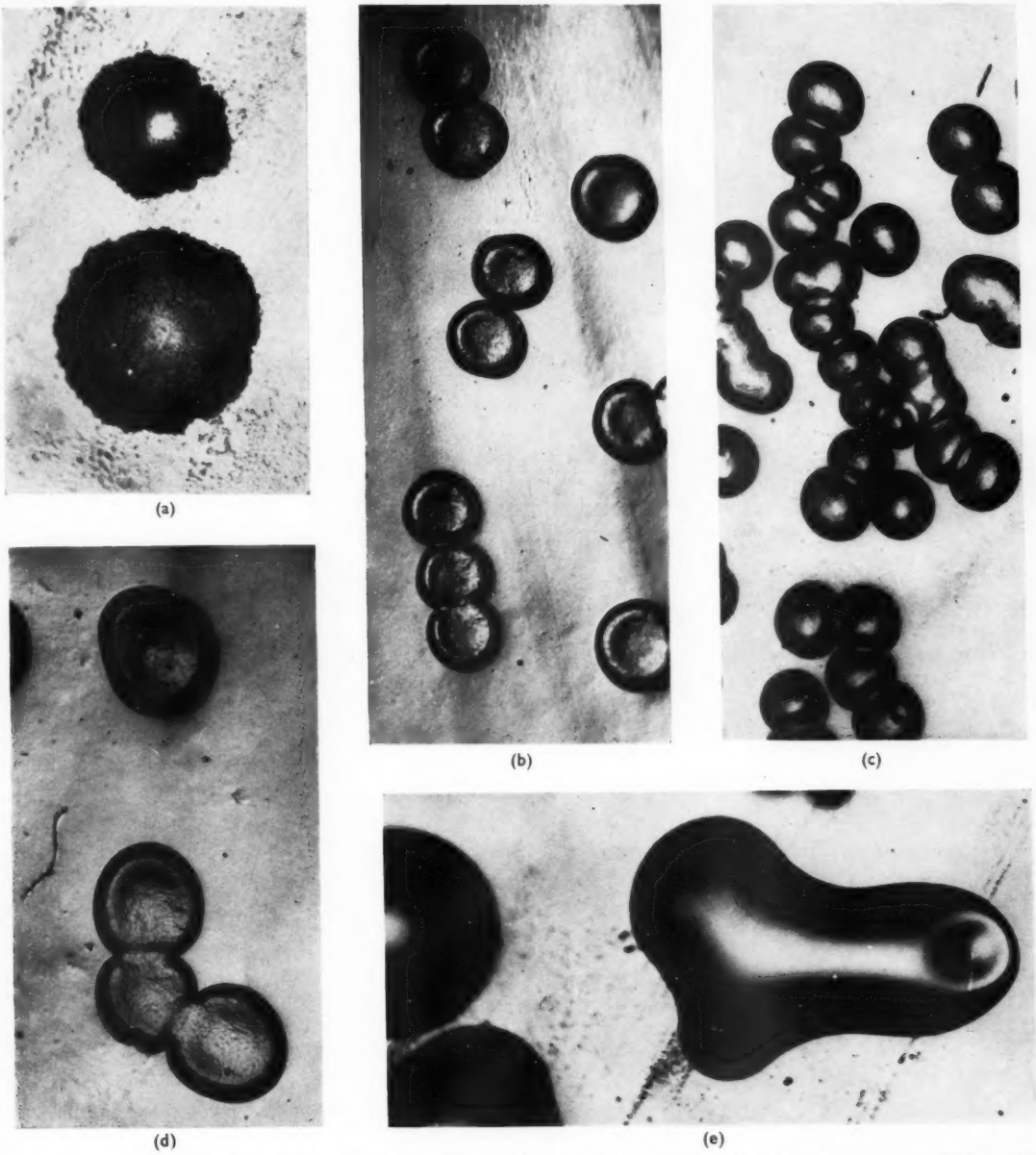


FIGURE 1 – *Photographies de colonies de souches de pneumocoques développées à la surface d'un milieu solide.* (a) *Souche ER, colonie extrêmement rugueuse. Les bactéries ne sont pas encapsulées et forment de longues chaînes qui s'enchevêtrent.* (b) *Souche R, colonie rugueuse. Les bactéries ne sont pas non plus encapsulées, mais ne forment pas de longues chaînes.* (c) *Souche* SIII–1, *intermédiaire entre rugueuse et lisse. Ces bactéries forment de petites quantités de polysaccharide capsulaire de type* III. *La formation d'une capsule réduite est due à une mutation de l'agent capsulaire de transformation.* (d) *Souche* SIII–2, *colonie lisse. Les bactéries sont encapsulées mais forment moins de polysaccharide que ne le font celles de souche normale* SIII–*N, ce fait étant dû à une mutation de l'agent capsulaire de transformation dans cette race.* (e) *Souche* SIII–*N, colonie lisse, encapsulée avec le polysaccharide de type* III. (× 25)

figure 2). Un troisième agent possible induit la formation d'une protéine caractérisée sérologiquement à la surface de certains pneumocoques qui ne formaient pas auparavant cette protéine [8].

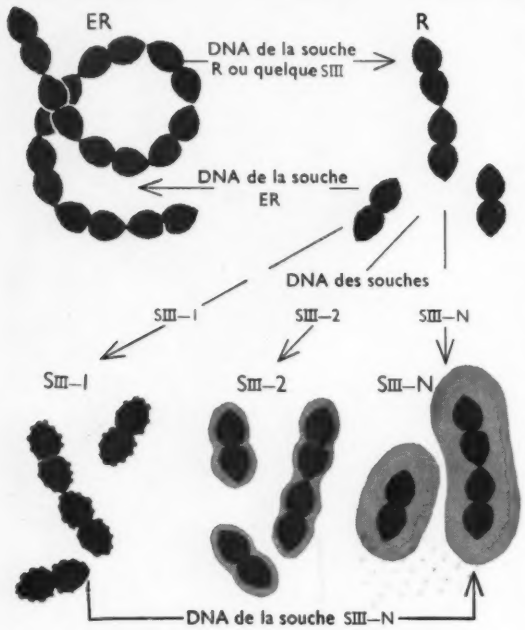


FIGURE 2 – *Diagramme de quelques-unes des transformations qui ont été induites dans les souches que montre la figure* 1. *DNA, fraction acide désoxyribonucléique de la souche indiquée. En rouge le polysaccharide capsulaire de type* III. *Noter que les fractions DNA des souches* SIII *ont deux activités de transformation spécifiques différentes; transformation de ER en R et de R en* SIII *correspondante à la source de DNA.*

Ce troisième agent est peut-être identique au deuxième et tant que des expériences appropriées n'ont pas été faites pour établir leur individualité nous ne pouvons être surs d'avoir identifié plus de deux agents de transformation dans la fraction acide désoxyribonucléique de ces bactéries.

En résumé, il semble probable que les agents spécifiques de transformation des pneumocoques se composent d'acides désoxyribonucléiques possédant des activités spécifiques différentes et qu'ils font partie du substratum génétique des bactéries à partir desquelles on les a isolés.

Revenons, finalement, à la question posée au début de cette discussion sur les transformations: Dans quelle mesure ces études ont-elles fait progresser notre contrôle sur les systèmes génétiques? Nous ne saurions conclure à l'acquisition définitive du contrôle des propriétés biologiques d'une substance génétique, car nous n'avons pas encore agi sur les propriétés des agents de transformation, analogues aux gènes, eux-mêmes, ni créé un élément génétique *de novo*. Dans les transformations de pneumocoques, on prend dans une bactérie un agent tout fabriqué qu'on fait agir sur une autre, dotant par là la bactérie transformée de nouvelles propriétés héréditaires. A certains égards, ces transformations ressemblent aux hybridations dans lesquelles on manipule aussi du matériel génétique préformé. Nous pouvons espérer qu'un jour nous seront capables de modifier, à volonté, les propriétés des agents de transformation qui sont facilement accessibles hors de la cellule, en solution dans un tube à essais. Peut-être même, les chimistes seront-ils capables d'élucider suffisamment les structures chimiques pour permettre la synthèse d'agents analogues aux gènes, à partir de matériaux organiques relativement simples.

S'il y a toute raison de penser que l'étude de ces transformations nous permettra d'atteindre beaucoup d'éclaircissements nouveaux sur la structure et la fonction des déterminants génétiques considérés comme un tout, il n'y en a pas, à l'heure actuelle, pour supposer que la découverte de ce phénomène marque une coupure nette avec les concepts de la génétique moderne. Ces transformations sont bien induites par des agents introduits dans le milieu où croissent les bactéries, agents qui peuvent donc être considérés comme des facteurs externes. Cependant l'origine spéciale et les propriétés des agents de transformation nous inclinent à penser que nous sommes en présence de l'introduction d'un matériel génétique nouveau dans la bactérie et non de la modification, par des facteurs externes, du substratum héréditaire que la bactérie possédait déjà. Les agents de transformation que nous isolons de souches variées de bactéries ont leurs propriétés propres et pour le moment elles sont aussi incontrôlables par l'homme que celles des gènes.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GRIFFITH, F. *J. Hyg. Camb.*, **35**, 23, 1935.

[2] AVERY, O. T., MCLEOD, C. M., et MCCARTY, M. *J. exp. Med.*, **79**, 137, 1944.

[3] MCCARTY, M., et AVERY, O. T. *Ibid.*, **83**, 89, 1946.

[4] *Idem. Ibid.*, **83**, 97, 1946.

[5] HOTCHKISS, R. D. «Colloques du C.N.R.S.» Paris. 1948.

[6] TAYLOR, H. E-. *J. exp. Med.*, **89**, 399, 1949.

[7] MCLEOD, C. M., et KRAUS, M. *Ibid.*, **86**, 439, 1947.

[8] AUSTRIAN, J. M., et MCLEOD, C. M. *Ibid.*, **89**, 425, 1949.

Le bétail sans cornes

JOHN HAMMOND

Le Professeur Hammond, après avoir fait l'historique du bétail sans cornes, indique les raisons pour lesquelles l'absence de cornes est souvent préférable. Le bétail encore jeune peut être chimiquement privé de ses cornes, et d'autre part on a mis au point et employé avec succès au cours du dernier demi-siècle, des méthodes de reproduction du bétail sans cornes.

Autant qu'on peut en juger par leurs restes fossiles, toutes les races et les espèces primitives de bétail étaient cornues, bien qu'Arénander en doute, se basant sur le *Leptobos Frazeri* et quelques autres variétés sans cornes vivant dans l'Inde pendant la période pléistocène et que décrit Rutmeyer. On croit communément que les races sans cornes proviennent de mutations biologiques anormales de sujets cornus. C'est au moyen de substances chimiques appelées gènes, disposées par couples sur les chromosomes du noyau de la cellule animale que des caractères tels que les cornes sont transmis par hérédité. Les gènes fixent le caractère particulier de chaque nouvel individu. Lorsque par hasard il se produit une transformation chimique de la gène, comme par exemple sous l'influence des rayons X, cela donne naissance à une mutation, ou anomalie. Celles-ci sont pour la plupart de caractère récessif dans l'hérédité, ce qui veut dire que le caractère en question disparaît dans la première génération d'un croisement avec la variété normale primitive, puis reparaît dans la génération suivante dans la proportion de 1 pour 3. Sous ce rapport cependant l'absence de cornes chez les bestiaux fait exception étant donné que, bien qu'étant une mutation du type primitif, elle se comporte comme un caractère dominant: c'est-à-dire qu'elle paraît à la première génération d'un croisement avec le type primitif, puis à la deuxième génération dans la proportion de 3 pour 1; de ces trois un seul donnera des produits sans cornes (figure 4).

BREF HISTORIQUE

En thèse générale, l'histoire du bétail est liée à celle de l'homme. L'homme primitif, aussi bien que l'homme moderne, s'est déplacé accompagné du bétail de son choix. Dechambre [3] a fait le relevé de ce qui a été écrit sur le bétail sans cornes. Selon lui c'est en Egypte, vers l'an 2150 av. J.-C. qu'il est pour la première fois question de bétail sans cornes dans un pays civilisé (figure 1). Hérodote («Histoire», livre IV) en signale aussi la présence au sud de la Russie (Scythie). On ne sait au juste si ceux-ci n'y avaient pas été amenés d'Egypte. Il existe de nos jours chez les indigènes de l'A.O.F. (figure 2) des races locales de bétail sans cornes qui descendent vraisemblablement du bétail égyptien, car Curson et Thornton ont démontré [2] qu'il a dû y avoir migration de tribus en Afrique du nord au sud.

Par la suite c'est en Suède (figure 3) que l'on retrouve le bétail sans cornes: là existaient et existent encore une race de «désarmés» roux de petite taille, et une race blanche.

Il est fort peu probable que dans les troupeaux de bêtes à cornes vivant dans les conditions primitives les taureaux dépourvus de cornes aient eu quelque chance de survivre, étant naturellement en état d'infériorité dans les luttes soit contre leurs rivaux dans le troupeau, soit contre les bêtes de proie. En outre les désarmés ne seraient pas appréciés des hommes qui s'en servent comme bêtes de trait, attendu que c'est par les cornes que dans beaucoup d'endroits on saisit les bêtes et on les attelle à la charrue ou à la charrette. Par contre, là où l'on élevait le bétail principalement pour sa chair et son lait, les sujets sans cornes étaient probablement recherchés; c'est ainsi qu'ils se sont installés à demeure dans les pays scandinaves tandis qu'ils n'ont jamais pu prendre faveur en Europe centrale et méridionale, ni en Asie, ni dans la majeure partie de l'Afrique.

En Grande-Bretagne et en Irlande tous les bovins primitifs étaient armés et Wilson [6] fait remonter l'origine des diverses races sans cornes de Grande-Bretagne au bétail roux apporté de Scandinavie par les Vikings. En Irlande on trouvait une race de désarmés, les «Maol», aujourd'hui presque éteinte. En Ecosse, les bovins sans cornes importés, croisés avec les cornus noirs indigènes, donnèrent naissance au «sans cornes»

FIGURE 1 – *Taureau sans cornes, de l'ancienne Egypte (Kronacher, 1921).*

noir «Aberdeen Angus» (figure 5) et «Galloway», tandis que les colonies de Vikings d'East Anglia élevèrent le «Red Poll» (figure 6), qui était peut-être primitivement la race scandinave pure, et plus tard un croisement de celle-ci avec des cornus roux. Dans la même région un croisement subséquent des Red Poll avec les cornus blancs transportés par les Romains en Grande-Bretagne engendra le bétail sans cornes dit «Park Cattle» qui existe encore sporadiquement. Les premiers britanniques qui colonisèrent l'Amérique du Nord, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et l'Afrique du Sud, apportaient avec eux de nombreux sujets sans cornes, de sorte que ceux-ci sont actuellement répandus dans les deux zones tempérées du globe.

Aux races sans cornes importées de Grande-Bretagne s'ajoutent d'autres provenant de mutations survenues chez les cornus britanniques en Amérique du Nord et ailleurs et qui ont fait souche de races distinctes. En Grande-Bretagne également des mutations semblables se produisent de temps en temps chez des races normalement cornues, mais jusqu'ici elles n'ont pas été conservées attendu que la tradition, et les statuts des sociétés d'élevage interdisent leur inscription dans les livres généalogiques. Duerst [4] cite de nombreux cas de mutation vers l'absence de cornes survenues chez des cornus. On a signalé au cours des trois dernières années des cas de mutation chez les Guernsey de pure race (un en Angleterre et un aux Etats-Unis), et au moins un chez des Jersiais (en Angleterre). Il paraît qu'il n'y a qu'une chance sur 50 000 qu'une telle mutation se produise [1], aussi bien elle n'a aucune chance de se maintenir dans un pays où l'on veut conserver les caractères traditionnels de la race. Mais il en va tout autrement dans les pays neufs où l'éleveur, ne se souciant guère de tradition ne tient compte que des avantages que lui procure l'absence de cornes. C'est pourquoi les porteurs de mutations parus assez récemment aux Etats-Unis chez les Hereford et les Shorthorn de boucherie furent conservés pour la reproduction. Boyd se servit des neuf cas de mutation énumérés par Spillman [5] pour fonder une race pure de Hereford sans cornes; il s'agissait de deux taureaux Hereford, issus d'ascendants armés.

En 1901, W. Gammon, de Des Moines, Iowa, dans une circulaire adressée aux membres de l'Association des Eleveurs américains de bétail Hereford, leur demandait des sujets sans cornes: on en réunit 14 dont Gammon acheta 7 vaches et 4 taureaux: 50–75% des produits des taureaux avec des vaches armées naquirent sans cornes et constituèrent la souche des Hereford sans cornes (figure 7). Le livre généalogique des Polled Hereford s'ouvrit en 1907 avec 5 noms et en 1948 les inscriptions se faisaient au rythme annuel de 30 000.

L'Australie, pour faire face à la demande de bêtes sans cornes, d'un engraissage facile, importa des Polled Hereford qui actuellement s'y multiplient. Aux Etats-Unis, le Shorthorn de boucherie sans cornes a aussi pris faveur: les premiers sujets sont nés vers 1870 dans l'Ohio, d'une souche de Shorthorn de race pure, et aussi à Minneapolis vers 1882, où une vache rouanne de race, à cornes flottantes, mit bas trois veaux sans cornes. Une association américaine de Polled Shorthorn s'ensuivit en 1889 dont le premier livre généalogique parut en 1898. Le Polled Shorthorn est très apprécié actuellement dans les régions où l'élevage se fait pour la boucherie: Argentine, Australie et Sud-Afrique.

DÉCORNAGE ARTIFICIEL

Quand il s'agit de bêtes élevées pour la boucherie dans de grands ranches (sauf pourtant dans le voisinage de bêtes de proie) les bovidés sans cornes sont préférables, car les cornes font des blessures difficiles à soigner. En outre quand les bêtes sont rassemblées pour la mise en wagon à destination de l'abattoir, les coups de cornes déchirent ou meurtrissent les chairs. Par ailleurs on peut charger dans les wagons un plus grand nombre de bêtes sans cornes. En conséquence, dans les grandes régions où se fait l'élevage pour la boucherie, telles que l'Argentine, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, la plupart des bœufs sont sans cornes de naissance, ou par décornage. La meilleure façon de pratiquer cette dernière opération est de cautériser les «boutons»

F
d
d
d

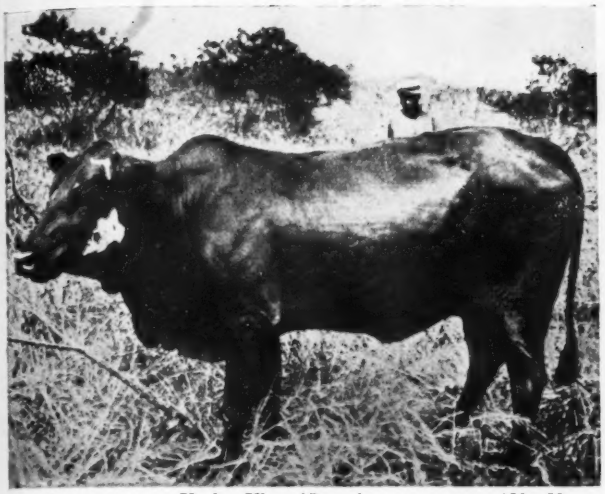


FIGURE 2 – *Vache Kivu (Sanga), sans cornes (H. H. Curson et R. W. Thornton).*

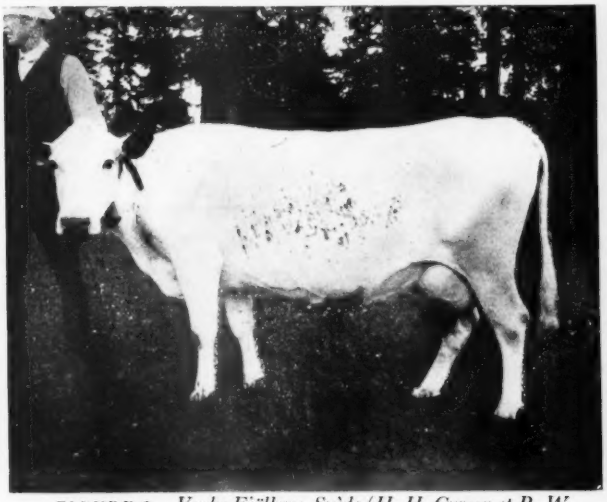


FIGURE 3 – *Vache Fjällrus, Suède (H. H. Curson et R. W. Thornton).*

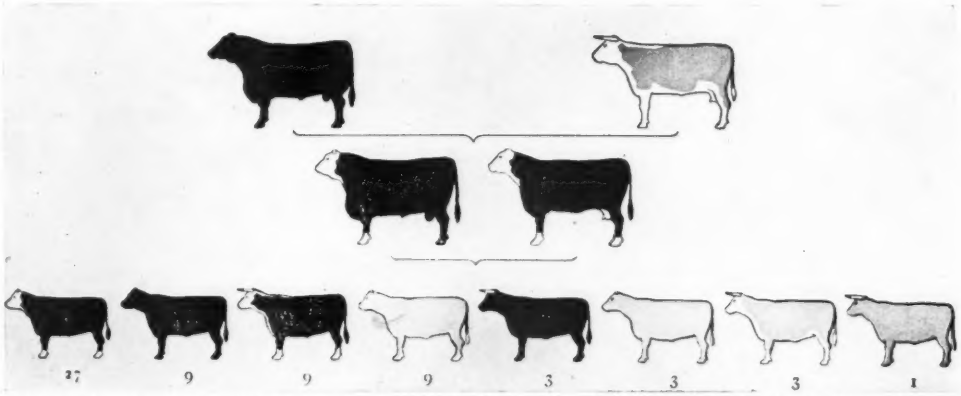


FIGURE 4 – *Représentation schématique de la transmission héréditaire des caractères chez les bestiaux. La robe noire et l'absence de cornes des Aberdeen Angus sont des caractères qui dominent le rouge et les cornes des Hereford. Par contre le mufle blanc Hereford domine le mufle uni des Aberdeen Angus. Les trois dominantes se montrent dans leur progéniture et ceux-ci s'entre-croisant peuvent engendrer huit types différents dont les chances de se reproduire sont indiquées par des chiffres au-dessous chaque animal.*

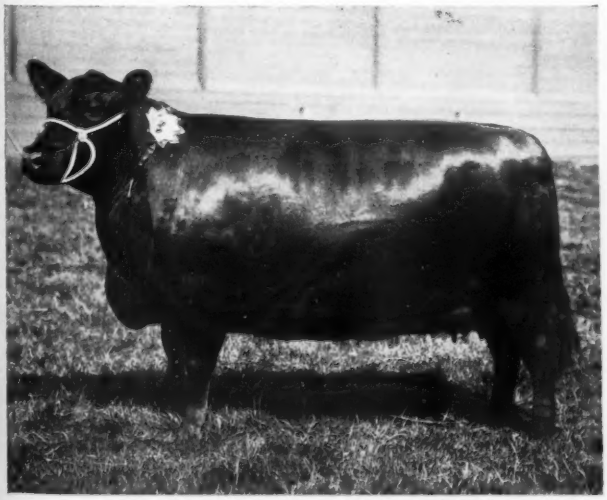


FIGURE 5 – *Vache Aberdeen Angus,* Julie Erica.

FIGURE 6 – *Génisse Red Poll,* Kirton Rueful Girl.

FIGURE 7 – *Bouvillon Hereford sans cornes, E.U.*

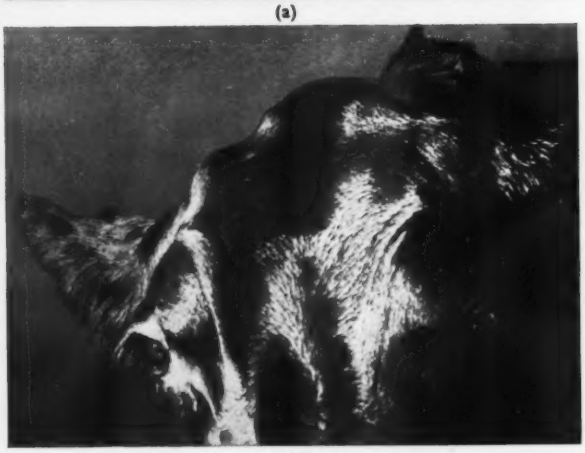
(a)

FIGURE 8 – *Bouvillon métis, illustrant les différences dans le développement des cornes:*

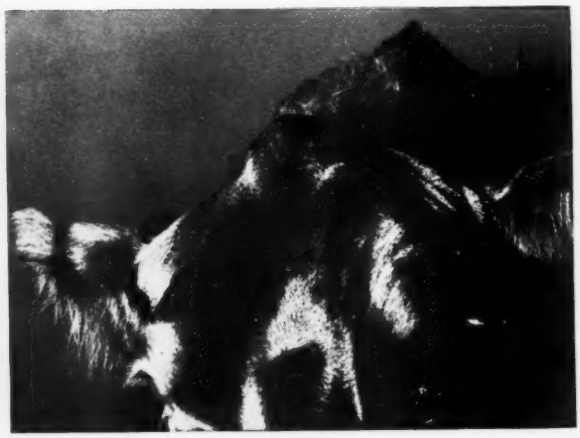
(a) *«Scurs», cornes rudimentaires et flottantes: 1er croisement de taureau Shorthorn × vache Aberdeen Angus; hétérozygote pour le caractère «cornes».*

(b) *Petites protubérances osseuses, mais non-cornées sur le crâne: croisement du 2e degré: Taureau Aberdeen Angus × vache (Taureau Shorthorn × vache Aberdeen Angus). Probablement hétérozygote pour le caractère «cornes».*

(c) *Sans cornes, pas trace d'excroissances cornées dans la peau ou l'os: croisement du 2e degré; Taureau Aberdeen Angus × vache (Taureau Aberdeen Angus × vache Shorthorn). Homozygote pour le caractère «sans cornes».*



(b)



(c)

des veaux naissants avec de la potasse caustique. Toutefois dans les grands ranches c'est une tâche difficile que de rassembler les veaux à cet effet; il arrive alors qu'on leur fasse subir tardivement l'opération sanglante et douloureuse de l'ablation des jeunes cornes à la cisaille ou à la scie. Il n'est donc pas étonnant que les races sans cornes prennent faveur dans ces régions. Pour l'élevage intensif en parc du bétail de boucherie, comme cela se fait en Ecosse et dans l'Est de l'Angleterre, le bovidé sans cornes est préférable, car outre qu'il prend moins de place à l'abreuvoir, on peut en parquer un plus grand nombre dans chaque enclos. C'est ainsi que le bétail irlandais envoyé dans l'Est de l'Angleterre pour l'engraissage est au préalable privé de ses cornes, ce qui augmente sa valeur d'une livre sterling par tête.

En ce qui concerne les races laitières, l'emploi presque universel de la trayeuse automatique sur tapis mobile a rendu indispensable le décornage des vaches. Avant la traite le troupeau est rassemblé dans un espace resserré, et là, ainsi que dans la bousculade qui s'ensuit vers les appareils, des cornes pourraient endommager non seulement la peau des vaches mais aussi leurs pis; sans compter qu'une vache qui, allant à la traite, reçoit d'une voisine une bourrade dans le flanc, perd la sérénité d'humeur indispensable à une lactation facile et abondante. Néanmoins la nécessité d'établir des variétés sans cornes par sélection ne s'est pas imposée pour les races laitières autant que pour les races de boucherie, attendu que l'opération de décornage est plus facile quand les veaux sont élevés dans l'étable. A cette fin on emploie communément soit la potasse caustique, soit une sorte de galvanocautère appliqué à la périphérie du cornillon chez le veau naissant. Cette opération a lieu dans la plupart des régions laitières du monde où l'on fait usage de la trayeuse automatique: Etats-Unis, Canada, Australie, Nouvelle-Zélande, etc. Dans les expositions agricoles en Amérique il n'y a plus de préjugé contre cette nouvelle mode pour le bétail, si bien que la vache primée au «Dairy Congress Show» en 1947 était une «sans cornes».

L'ÉLEVAGE DES «SANS CORNES»

Etant donné la perte de temps, l'emploi improductif de main d'œuvre, et les autres inconvénients que comporte le décornage, il y a avantage à produire par élevage du bétail naturellement sans cornes. Ce serait dommage, par contre, de perdre la sauvage beauté de cornes gracieusement étendues ou incurvées. Le cowboy également ne saurait comment terrasser le bouvillon ou le prendre au lasso, ni distinguer facilement ses bêtes, celles-ci n'ayant pas de cornes qu'il pût marquer au fer chaud. En tous cas, la présence ou l'absence de cornes pouvant être obtenue par sélection, l'éleveur a la faculté de choisir le genre qui lui convient.

Deux méthodes de sélection s'offrent à ceux qui voudraient produire une race sans cornes: la première est de conserver les porteurs de mutations sans cornes qui se présentent sporadiquement chez les bovidés cornus: telle a été l'origine des Hereford sans cornes (figure 7). Cette méthode peut être encouragée en inaugurant dans le livre généalogique de la race en cause une section consacrée aux «sans cornes» et à leur descendance (en prenant toutefois certaines précautions; voir ci-après).

La deuxième est d'opérer le croisement d'une race pure avec une race sans cornes, puis ramener la progéniture vers la race pure par étapes successives d'amélioration, selon les règles établies dans les livres généalogiques qui admettent l'apport de sang nouveau. Cette méthode a été employée récemment avec succès dans la création de sous-races nouvelles d'oiseaux de basse-cour chez lesquelles l'hérédité est liée au sexe (sex-linked). Le mouton sans cornes de Suffolk, provenant de croisements entre les désarmés Southdown et les cornus Norfolk, garde maintenant l'absence de cornes comme caractère fixe. Les bovins «Red Poll» chez lesquels actuellement l'absence de cornes est également un caractère fixe ont eu parmi leurs ancêtres des encornés.

On emploie couramment les deux méthodes pour établir des races de «sans cornes». Or, en ce qui concerne la première, celle qui utilise les mutations occasionnelles de la race pure, c'est selon l'attitude plus ou moins tolérante des membres à cet égard que s'établit la gamme des sociétés d'élevage: à l'extrême droite, pour ainsi dire, se trouvent celles qui refusent même d'inscrire parmi ceux de race pure les sujets artificiellement décornés (la Société des Shorthorn et celle des Hereford de Grande-Bretagne); d'autres admettent le décornage artificiel mais refusent les désarmés de naissance (Société frisonne de Grande-Bretagne); tandis que d'autres sociétés (Holstein-Friesian des Etats-Unis, Sociétés des Guernsey et des Jersey, Sociétés de Shorthorn et Ayrshire) inscrivent les désarmés de naissance, les unes avec une indication à cet effet, les autres sans aucune indication. Et l'on arrive ainsi à l'autre extrême, où sociétés et livres sont réservés exclusivement aux «sans

cornes» de pure race (Société américaine des Polled Hereford).

Au sein des sociétés d'élevage dont les registres sont actuellement fermés aux mutations «sans cornes» certains membres, s'écartant de la tradition, tentent d'obtenir des métis désarmés par croisement avec une variété sans cornes appropriée; puis de remonter par amélioration graduelle, à la race pure. Ce procédé s'explique du fait qu'un caractère comme la présence ou l'absence des cornes se transmet en bloc, tandis que la couleur et les qualités dites commerciales se présentent en proportions variables selon le degré de métissage. Par exemple tous les produits d'un premier croisement entre Red Poll et Ayrshire armés n'ont pas de cornes tandis qu'ils sont intermédiaires aux parents au point de vue ossature et qualités commerciales. Quand ces métis du 1er degré sont associés aux purs Ayrshire, 50% des produits sont cornus, 50% sans cornes, et tous ont 75% du squelette et des qualités commerciales des Ayrshire. Si les produits sans cornes du 2e degré sont associés, à leur tour, aux purs Ayrshire, 50% des nouveaux produits sont sans cornes, et tous ont 87½% de l'ossature et des qualités commerciales du type Ayrshire, et ainsi de suite jusqu'au retour complet au type pur (voir le tableau).

Génération	*Pourcentage des «sans cornes»*	*Pourcentage d'ossature et qualités Ayrshire*
1. Premier croisement ..	100	50
2. Produits sans cornes associés au pur Ayrshire	50	75
3. *Id.*	50	87½
4. *Id.*	50	93¾
5. *Id.*	50	97⅞

Toutes nos races laitières étant actuellement accessibles à l'acquisition d'un caractère par métissage et retour à la race pure, le moyen le plus simple d'introduire le type sans cornes dans une race serait de choisir comme souche une vache sans cornes pour établir le caractère, puis amener le retour à la race pure par le procédé décrit ci-dessus.

Lorsque les sujets d'une génération ont atteint dans leur quasi-totalité les caractères de la race pure, ayant de ce fait les qualifications nécessaires pour être enregistrés comme purs, il s'agit alors de s'assurer que leurs produits peuvent transmettre régulièrement l'absence de cornes comme caractère permanent. On y arrive en accouplant des taureaux et des vaches sans cornes, dont un sur trois des produits sans cornes transmettra fidèlement le caractère. Pour obtenir la permanence de caractère de manière plus expéditive et économique c'est le taureau qu'on devra sélectionner: on peut repérer le bon reproducteur (le taureau, mais pas la vache) par l'absence de petites cornes ballantes («scurs») ou de boutons osseux à la place des cornes, car ces signes (figure 8) révèlent le sujet hétérozygote pour le caractère «cornes». Quand un taureau a été sélectionné d'après le critère indiqué, il est à recommander, pour plus de certitude de lui faire subir un «test de progéniture» avant d'en faire un reproducteur. On fait saillir par lui de 5 à 10 vaches à cornes et si tous les produits sont sans cornes on pourra être certain qu'il sera un bon raceur, mais s'il y a seulement un encorné parmi les veaux qu'il a engendrés, il ne devrait pas être conservé comme reproducteur. En faisant de la sélection avec des taureaux ainsi éprouvés et des vaches sans cornes les risques de voir paraître un encorné dans la lignée sont réduites à néant au bout d'un certain temps.

Par ailleurs les risques de voir une vache sans cornes du troupeau mettre bas un veau encorné (même après avoir été saillie par un taureau à cornes) diminuent d'une génération à l'autre issues de reproducteurs éprouvés; c'est-à-dire, à la première génération une vache sur trois mettra bas un veau encorné après saillie par un taureau sans cornes; à la 2e, une sur 6; à la 3e, une sur 12, et ainsi de suite. Ainsi donc en faisant un usage judicieux de la loi de Mendel sur l'hérédité, on pourrait, à volonté, obtenir une variété sans cornes de n'importe quelle race de bestiaux, sans perdre aucun des caractères de cette race.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Clover, C. *Guernsey Breed J.* (U.S.A.), Ap., 1177, 1948.

[2] Curson, H. H., et Thornton, R. W. *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, 7, 613, 1936.

[3] Dechambre, P. «Traité de Zootechnie» T.3, Les Bovins. Paris. 1922.

[4] Duerst, J. W. «Die Rinderzucht». Berlin. 1931.

[5] Spillman, W. J. *Proc. Soc. Prom. agric. Sci. N.Y.*, 28th Ann. Meeting, 115, 1907.

[6] Wilson, J. «The Evolution of British Cattle, and the Fashioning of Breeds». Londres. 1910.

Les tremblements de terre

ERNEST TILLOTSON

Les renseignements qu'on tire de l'étude des mouvements de l'écorce terrestre sont des plus utiles non seulement pour les sismologues mais également pour les géologues, les ingénieurs et les prospecteurs. Au cours des dernières années on a prouvé que les microséismes, qui proviennent de l'instabilité générale du sol, sont provoqués par des tempêtes en mer et l'étude de ces phénomènes s'est révélée utile dans la prédiction du temps.

Les grondements sourds et les petites secousses sont choses si courantes dans la ville de Murchison et la vallée du fleuve Buller, au nord-ouest de l'île sud de la Nouvelle-Zélande, que personne n'y fait attention, mais le 17 juin 1929 un tremblement de terre violent dévasta Murchison [1]. En de nombreux endroits les collines et les plaines fertiles avoisinantes furent râclées jusqu'au roc, de grandes fissures se formèrent et un nouveau lac surgit, les eaux de la rivière Matakitaki ayant été bloquées par un barrage de terre, de rochers et de débris entassés par le tremblement de terre; il en fut de même pour les rivières Matiri, Maruia et le fleuve Buller, et de nombreuses routes furent coupées par les ébranlements. Il n'y eut que dix-sept morts à déplorer, mais il est certain que le nombre eût été fort élevé si la région au nord de Murchison avait été plus peuplée.

Les ondes élastiques émises par la zone épicentrale du séisme furent enregistrées par les sismographes sensibles dans le monde entier. La figure 1 représente le graphique obtenu à Edimbourg sur le sismographe Milne-Shaw du Royal Observatory. L'analyse de sismogrammes de cette espèce indique que l'hypocentre était à 18 km de profondeur sans doute, ce qui est normal, et non plus bas comme on l'avait cru un moment [2]. Le déplacement des failles de surface semble dû à l'énergie de compression qui aurait été libérée à la suite d'une dislocation à cette profondeur.

On pense que cette région était aride à la fin du tertiaire, mais lors de la grande déformation de l'écorce terrestre, survenue au terme de pliocène, elle se serait disloquée en blocs étagés, relevés, gauchis et retournés. Ce mouvement relatif des blocs a recommencé comme on le voit par la rupture des rochers près de White Creek, à 11 km à l'ouest de Murchison, et par le fait que le terrain à l'est a été soulevé de 5 m environ, tandis que le terrain à l'est de la faille s'est déplacé de 3 m vers le nord.

RENSEIGNEMENTS OBTENUS SANS INSTRUMENTS

On peut souvent évaluer l'intensité d'un séisme par les effets qu'il produit à un endroit déterminé. Le coefficient à attribuer à ces effets varie d'après l'échelle employée et dépend du jugement critique d'un observateur expérimenté. Jusqu'en 1931 on s'était surtout servi des échelles Rossi-Forel et Davison; elles furent supplantées par l'échelle d'intensité Mercalli modifiée qui n'est que l'échelle Mercalli-Cancani de Sieberg adaptée aux conditions d'aujourd'hui.

Lorsqu'on a évalué l'intensité en divers lieux, on peut tracer des lignes d'égale intensité ou lignes isosismales; on parvient ainsi à délimiter la région d'intensité maximum du séisme. Du fait de la structure géologique de la surface terrestre, cette région ne coïncide pas nécessairement avec l'épicentre déterminé au moyen d'instruments, mais les deux centres ne sont pas très écartés en général. Les dépôts de roches non consolidées indiquent une intensité macrosismique relativement plus grande que les roches fermes et tassées.

Lorsque l'épicentre se trouve en mer, on peut tirer certains renseignements en notant l'heure d'arrivée de l'onde sismique marine en divers points de son parcours.

RENSEIGNEMENTS OBTENUS AU MOYEN D'INSTRUMENTS

Les sismographes sont des instruments destinés à enregistrer le passage d'ondes terrestres élastiques. Ils se composent essentiellement d'une masse pesante qui fait partie d'un système dynamique: lors du passage des ondes terrestres elle se meut par rapport à son support et au mécanisme enregistreur. La plupart des sismographes ont un pendule horizontal. Si l'axe de rotation du pendule passe progressivement de la position horizontale à la verticale, la composante utile de la pesanteur qui contrôle la rotation par rapport à

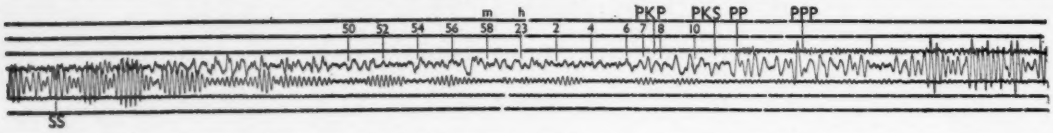


FIGURE 1 – *Sismogramme obtenu au Royal Observatory d'Edimbourg, lors du tremblement de terre de* 1929 *en Nouvelle-Zélande.*

PKP *est une onde directe de compression par le noyau de la terre.*

PKS *est un train d'ondes de compression par le noyau de la terre, transformé en onde transversale pour le dernier tronçon de son parcours.*

PP *est une onde longitudinale réfléchie une fois.*

PPP *est une onde longitudinale réfléchie deux fois.*

SS *est une onde transversale réfléchie une fois.*

l'axe décroît de façon correspondante. Quand l'axe est presque vertical le pendule est en position presque instable et donc à même d'acquérir une longue période de vibration. La sensibilité statique obtenue est considérable, mais on doit appliquer un amortissement appréciable pour réduire l'effet de la vibration propre du pendule. Il est indispensable, d'autre part, d'amplifier les moindres mouvements de la terre; la valeur d'un sismographe dépendra donc des méthodes employées pour l'amplification et l'amortissement.

Pour mesurer les déplacements horizontaux dans deux directions à angle droit ainsi que pour déterminer l'azimuth de l'épicentre, on se sert habituellement de deux sismographes horizontaux. Pour mesurer le déplacement vertical du sol il est d'usage d'employer un pendule horizontal soutenu par un ressort hélicoïdal vertical en un point situé entre l'axe et le poids. Pour obtenir une longue période sans compromettre la stabilité le pendule vertical est moins indiqué que l'autre.

Les sismographes les plus sensibles sont sans doute ceux du type Galitzin (horizontaux et verticaux), qui utilisent l'amortissement électromagnétique jusqu'à la limite apériodique. L'amplification est accrue au moyen de l'enregistrement électro-magnétique. Dans le sismographe horizontal Wiechert on a une très grande masse (environ 1000 kg) soutenue comme un pendule renversé par des ressorts plats de Cardan; la stabilité est assurée par de petits ressorts de contrôle horizontaux. On se sert d'amortissement variable par l'air et le même instrument permet de mesurer les deux composantes. Le sismographe horizontal Milne-Shaw est un pendule simple horizontal comprenant une petite masse, un long bras destiné à l'amplification et un enregistrement photographique; comme l'amortissement est insuffisant, les graphiques sont faussés par la période propre du pendule.

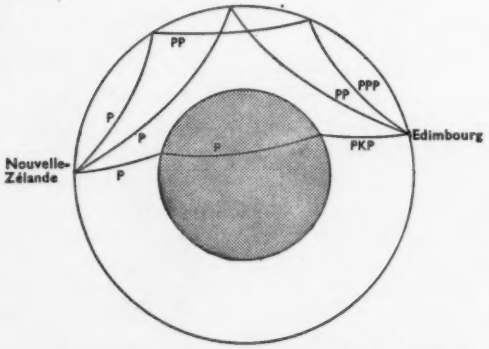


FIGURE 2 – *Section de la terre, montrant le trajet de certaines des ondes émises par le séisme de* 1929 *en Nouvelle-Zélande. Même lettrage que pour la figure* 1.

Le sismogramme obtenu au Royal Observatory d'Edimbourg pour le séisme de Buller, en 1929 (figure 1), indique clairement plusieurs ondes. L'interprétation est marquée à côté de la trace. *PKP* est l'onde de compression la plus directe parvenue par le centre de la terre. *PKS* est une onde similaire qui a été changée en onde transversale dans le dernier tronçon de son parcours. *PP* est une onde longitudinale qui a été réfléchie une fois par la surface de la terre, tandis que *PPP* en est une autre réfléchie deux fois; *SS* est une onde transversale réfléchie une fois. La figure 2 montre les trajets de certaines de ces ondes dans une section de la terre. Les ondes *S* suivent des routes similaires à l'extérieur du noyau. Le reste du graphique se compose de réflexions multiples et d'ondes qui ont progressé à la surface de la terre. Les observatoires du monde entier rédigent des bulletins basés sur leurs interprétations et les envoient à l'*International Seismological Summary Office*, qui est actuellement à l'Observatoire de Kew. Ce service les collationne et détermine l'épicentre et le moment d'origine des séismes. Comme ce travail est en retard d'environ onze ans sur les tremblements de terre mêmes, on a recours aux calculs préliminaires bien utiles concernant les épicentres et les temps d'origine. Ces calculs sont

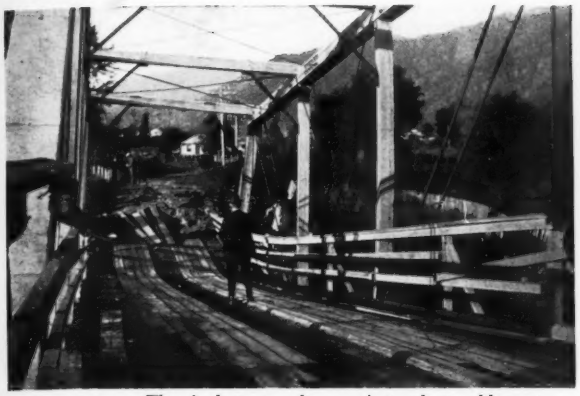


FIGURE 3 – *Travée de pont endommagée par le tremblement de terre de Buller en juin* 1929.

FIGURE 4 – *Glissement à* 5 *km au sud de Murchison. Maison endommagée.* (*Séisme Buller, juin* 1929.)

FIGURE 5 – *Voie ferrée tordue près de Westport.* (*Séisme Buller, juin* 1929.)

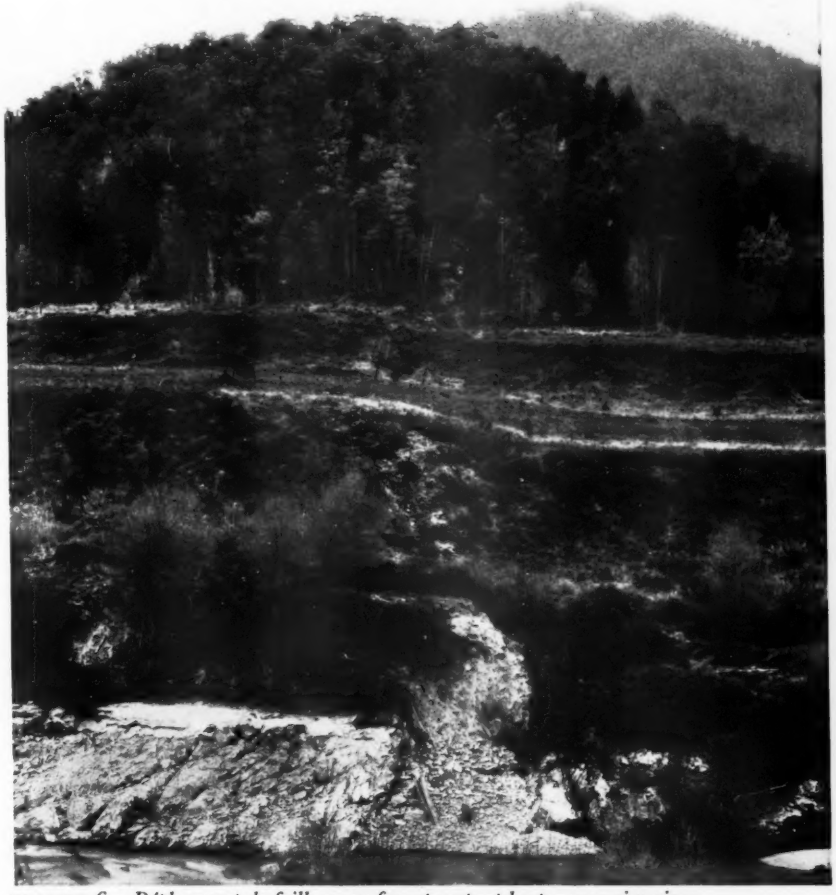


FIGURE 6 – *Déplacement de faille en surface et coupant les terrasses riveraines.*

(*Les figures* 3–8 *ont été reproduites grâce à l'amabilité du Dominion Observatory, Wellington, Nouvelle-Zélande.*)

FIGURE 7 – *Séminaire catholique de Greenmeadows, Nouvelle-Zélande, montrant les dégâts. (Près de l'épicentre du séisme de février* 1931.)

FIGURE 8 – *Hôpital du Dr Moore à Napier, Nouvelle-Zélande, penché et détruit à la suite du séisme de février* 1931.

FIGURE 9 – *La faille de Fukôzu traversant un champ de riz. (Tremblement de terre de Mikawa, janvier* 1945.) *Voir aussi les figures* 11–13. *(Reproduction due à l'amabilité du Dr Hiromichi Tsuya.)*

FIGURE 10 – *Ligne de la faille de Fukôzu; dégâts du temple de Shinto. (Tremblement de terre de Mikawa, janvier* 1945.) *Voir aussi les figures* 11 *et* 14. *(Reproduction due à l'amabilité du Dr Hiromichi Tsuya.)*

effectués par (1) *The United States Coast and Geodetic Survey*, Washington, D.C., (2) le Bureau sismologique international de Strasbourg, et (3) *The Jesuit Seismological Central Station*, Saint Louis, E.-U.; le premier est disponible quelques jours après la secousse, les deux autres le sont dans les semaines qui suivent.

De toutes ces manières le chercheur dispose des données les plus précieuses sur la structure des profondeurs de la terre, avec toutes ses discontinuités, les racines des montagnes et la structure continentale et océanique. La mesure et l'enregistrement du temps ont atteint un tel degré de perfection de par les observatoires qu'il vaut la peine maintenant d'examiner les conséquences de l'anisotropie (caractère variable des propriétés suivant la direction) dans la structure des continents [4].

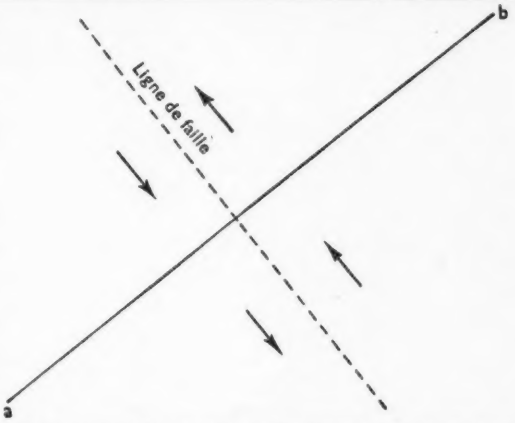


FIGURE 12 – *Plan horizontal illustrant les figures* 9 *et* 13. *Mouvement horizontal de* 1,30 *m le long de la faille de Fukôzu due au séisme de Mikawa du* 13 *janvier* 1945.

GÉOGRAPHIE DES SÉISMES

Lorsque les épicentres de tous les séismes nettement identifiés de tous les temps sont portés sur une mappemonde, on constate que la plupart se situent dans les zones touchées par la formation de montagnes à l'âge tertiaire ou à des époques plus récentes. D'autres régions, par contre, sont pratiquement à l'abri des séismes. Comme on sait que les tremblements de terre se reproduisent à peu près aux mêmes épicentres, il importe de savoir où se trouvent ces zones de façon à pouvoir estimer la sismicité de n'importe quelle partie de la terre.

L'étude des faits géologiques montre que les séismes ont lieu le plus souvent dans les régions du globe qui sont le siège de mouvements lents et séculaires, comme les monts Himalaya, ou le long des flexures les plus raides de la surface terrestre, comme le Japon et les régions côtières occidentales de l'Amérique où il y a des montagnes très élevées proches des immenses profondeurs de l'océan.

Une zone d'activité sismique semble encercler entièrement l'océan Pacifique sans inclure nécessairement l'Antarctique. La bordure au milieu de l'Atlantique a un caractère sismique: elle émet une branche perpendiculaire à sa propre orientation à travers la Méditerranée et la Turquie vers le Pamir où elle se divise. La branche la plus forte suit l'Himalaya jusqu'au Siam et rejoint la ceinture du Pacifique en passant par l'Indonésie. Une autre branche s'enfonce jusqu'en Chine centrale.

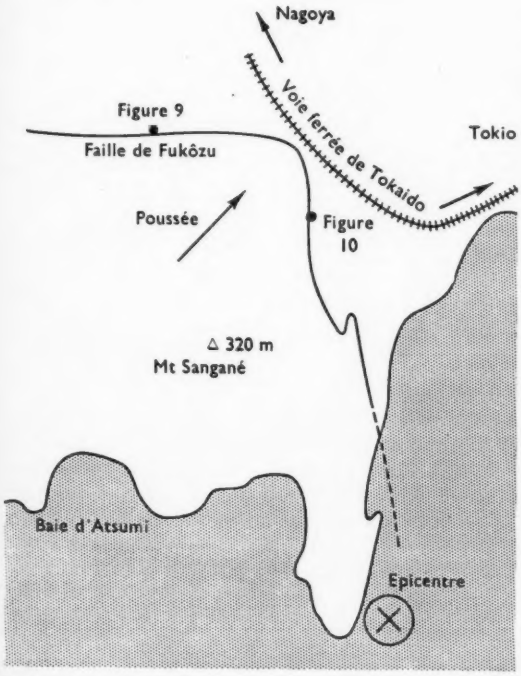


FIGURE 11 – *Carte-croquis montrant le parcours de la faille de Fukôzu, apparue après le séisme de Mikawa du* 13 *janvier* 1945. (*Echelle:* 1/90 000 *environ.*)

FIGURE 13 – *Plan en élévation illustrant les figures* 9 *et* 12. *Mouvement vertical de* 2 *m le long de la faille de Fukôzu due au séisme de Mikawa du* 13 *janvier* 1945.

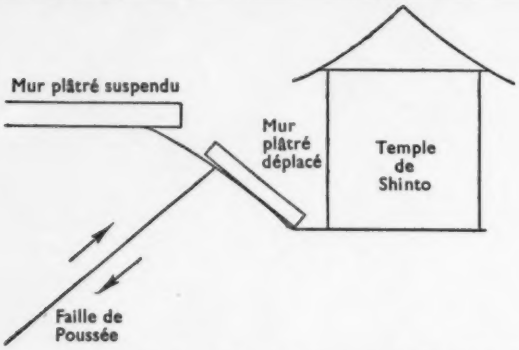


FIGURE 14 – *Plan en élévation illustrant la figure* 10 *et montrant les dégâts subis par les bâtiments le long de la faille de Fukôzu. Séisme de Mikawa du* 13 *janvier* 1945.

Il ne faudrait pas croire que les hypocentres de tous les séismes aient la même intensité et la même profondeur. Gutenberg [5, 6] a donné des formules permettant de déduire l'intensité des séismes à partir des enregistrements des instruments; on en conclut que les séismes, qu'ils aient leur centre à la surface ou à la plus grande profondeur connue (720 km environ), sont toujours provoqués par les mêmes forces.

Il est à présumer, par conséquent, que la dislocation a lieu à cette grande profondeur; elle entraîne forcément des déplacements permanents de l'écorce terrestre, le plus souvent suivis de nouvelles failles. La figure 6 illustre un tel déplacement de faille provoqué par le tremblement de terre de Buller, N.-Z., en juin 1929: on y voit que la faille coupe les terrasses riveraines.

C'est au Dr Hiromichi Tsuya que je dois les détails concernant la faille remarquable de Fukôzu, qui se produisit au cours du séisme de Mikawa du 13 janvier 1945 [7]. Ce tremblement de terre est l'un des plus terribles que le Japon ait connus depuis 1943; son épicentre se trouvait aux environs de 34° lat. nord et 137° long. est, près de la baie d'Atsumi, à l'ouest-sud-ouest de Tokio. Les victimes s'élevèrent à 1961 morts et un nombre beaucoup plus grand de blessés. 5539 maisons furent entièrement détruites et plus du double furent endommagées. La faille de Fukôzu, longue de 9 km, est remarquable en ce qu'elle tourne d'environ 90° sur elle-même au milieu de sa course (voir figure 11). De plus, une des branches de la ligne de faille a un contour en forme de S.

La faille elle-même est une faille inverse dont la lèvre sud-ouest présente un rejet vertical de 2 mètres par rapport à celle du nord-est. Le charriage horizontal est bien moindre et ne dépasse guère un mètre au maximum. L'aspect de la faille varie avec la nature des roches de surface: en terrain dur elle forme généralement des falaises raides en porte-à-faux, tandis qu'en terre meuble elle se présente comme une simple flexure du sol ou comme une déclivité descendante bosselée. Le plan de la faille s'incline de 50 à 70° vers le sud dans l'aile nord, et vers l'ouest dans l'aile sud. Il ne s'agit vraisemblablement pas d'une faille nouvelle au point de vue géologique; l'aile nord sépare des roches métamorphiques du paléozoïque supérieur ayant une structure différente (micaschistes et quartzites des deux côtés); l'aile sud passe entre des roches métamorphiques à l'ouest et du granit-biotite-hornblende plus ou moins schistosité à l'est. Il y a donc peu de doute que la faille sismique s'est formée par des mouvements accentués et renouvelés le long de failles géologiques préexistentes.

La région où les immeubles furent endommagés se confinait presque entièrement au côté sud-ouest, à part une bande étroite le long de la faille. Le chemin de fer de Tokaidô ne fut pas atteint, bien qu'il ne fût qu'à 150 m au nord-est de la faille de Fukôzu. Par conséquent, ce fait-ci et d'autres preuves permettent de conclure que le bloc montagneux de Sangané-San, entouré par la faille au nord et à l'est, fut relevé et poussé en avant vers le nord-est au moment même où le séisme se produisait (figures 9, 10, 12–14).

CAUSE DES SÉISMES

C'est au plus profond de la terre qu'il faut rechercher la cause fondamentale des séismes qui est liée aux rajustements rendus nécessaires par les échanges de chaleur. Si cette chaleur n'appartient pas en propre au noyau, elle est peut-être d'origine radioactive ou chimique; elle peut encore résulter du frottement ou de toute autre cause. Ce rajustement interne soumet l'écorce solide extérieure à un effort de compression et de tension, à un effort de cisaillement ou aux deux à la fois: il y a rupture si l'effort dépasse la limite d'élasticité de la roche. De telles ruptures ont lieu jusqu'à 720 km de profondeur, mais jamais plus bas; le point où elles commencent est considéré actuellement comme l'hypocentre du séisme, et des ondes élastiques semblent rayonner à partir de ce point vers l'extérieur dans toutes les directions.

On appelle épicentre du séisme le point de la surface du globe situé directement au-dessus de l'hypocentre. Les ondes élastiques en provenance de l'hypocentre dérangent temporairement ou pour de bon l'équilibre des rochers qu'elles

traversent; elles peuvent aussi amorcer le rajustement des blocs de surface aux nouvelles conditions souterraines: les failles de surface en sont la conséquence. Au moyen d'appareils de mesure on détermine les anomalies contraires à la pesanteur et le relèvement actif du sol: ces mesures indiquent parfois des tensions profondes susceptibles d'amener de nouveaux tremblements de terre.

CONSIDÉRATIONS MÉCANIQUES

Les dégâts occasionnés aux immeubles, ponts, etc., par les séismes ont obligé les ingénieurs à envisager la possibilité de créer des constructions capables d'y résister, et l'examen des dégâts dus au tremblement de terre de février 1931 à Hawke's Bay en Nouvelle-Zélande n'est pas sans intérêt (figures 7 et 8). Il paraît préférable cependant de se faire d'abord une idée des forces en jeu, et de dresser les plans des constructions en partant de principes premiers qui en tiennent compte. Parmi les données requises il y a quatre grandeurs différentes: les accélérations, dont on déduit les forces; les vitesses, d'où les moments et l'énergie cinétique; les déplacements, pour connaître la stabilité; et enfin, les périodes du mouvement sismique, pour la résonance.

Le *Coast and Geodetic Survey* des Etats-Unis a créé plus de quarante stations de mesure de l'accélération judicieusement réparties dans les régions de l'Amérique occidentale sujettes aux séismes. Le meilleur accélérogramme qu'on ait obtenu jusqu'à présent est sans doute celui qui s'est inscrit à El Centro le 18 mai 1940, lors du tremblement d'Impérial Valley, soit à 11 km d'un endroit où le séisme avait engendré un déplacement de faille de 3,50 m. L'intégration de ce graphique a donné les vitesses et les déplacements [8], et l'on est arrivé à reproduire ces mouvements de façon satisfaisante en agitant une table.

A moins que des circonstances particulières ne s'opposent à leur construction, on constate que les immeubles qui résistent le mieux aux séismes sont en général ceux à un étage, faits de bons matériaux, ayant les murailles bien chaînées et dont la période naturelle de vibration ne coïncide pas avec celle des ondes principales du séisme qui causent la destruction. Les compagnies d'assurances se couvrent contre les risques en imposant leurs propres conditions maxima [9, 10].

Pour finir, nous citerons deux aspects de la sismologie générale qui le méritent et qui font l'objet d'une bibliographie séparée. Le premier est la prospection sismique: le prospecteur provoque des explosions dans le sol, et les ondes sismiques primaires et autres qui traversent le sol sont enregistrées par des sismographes construits dans ce but. L'interprétation des diagrammes ainsi obtenus, compte tenu de l'extrapolation géologique, permet au prospecteur de délimiter la structure souterraine et d'économiser bien des frais de forage. La méthode est particulièrement profitable lorsque des strates superposées ont des propriétés élastiques différentes et surtout dans les champs de pétrole du Proche-Orient, des Etats-Unis, du Mexique et de Grande-Bretagne. L'autre aspect a trait aux microséismes, qui ne proviennent pas des tremblements de terre mais d'un frémissement général du sol dû à des causes très variées. Les microséismes dominants enregistrés par les sismographes ont des périodes allant de 3 à 7 ou 8 secondes et sont dus à des tempêtes en mer. Le trajet du centre de la tempête, qui est aussi le point d'origine du microséisme, est tracé au moyen de stations sismographiques tripartites: le sismographe est donc aussi un instrument de météorologie. Cette méthode est extrêmement utile dans la mer des Caraïbes et ailleurs [11, 12] pour prédire le temps à l'intention de la marine et de l'aviation, et pour repérer les ouragans et prévoir l'heure de leur arrivée.

BIBLIOGRAPHIE

[1] HENDERSON, J. *N.Z. J. Sci. Tech.*, **19**, No. 2, 65–144, 1937.

[2] BASTINGS, L. *Dominion Observatory, Wellington, New Zealand Bulletin*, No. 86, 1933.

[3] WOOD, HARRY O., et NEUMANN, FRANK. *Bull. seism. Soc. Amer.*, **21**, 277–83, 1931.

[4] STONELEY, R. *Mon. Not. R. astr. Soc. geophys. Suppl.*, **5**, No. 8, 1949.

[5] GUTENBERG, B. *Bull. seism. Soc. Amer.*, **35**, 57, 1945.

[6] *Idem. Ibid.*, **35**, 117, 1945.

[7] TSUYA, HIROMICHI. *Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo*, **24**, pts. 1–4, 59–75, 1946 (ainsi qu'une lettre personnelle).

[8] NEUMANN, FRANK. «Analysis of the El Centro Accelerograph Record of the Imperial Valley Earthquake of May 18, 1940», MSS. 9. Dept. of Commerce. U.S. Coast and Geodetic Survey. Washington, D.C. 1941.

[9] FREEMAN, J. R. «Earthquake Damage and Earthquake Insurance». McGraw Hill, Londres. 1932.

[10] TILLOTSON, E. *Nature*, **144**, 297, 1939.

[11] DEACON, G. E. R. *Ibid.*, **160**, 419, 1947.

[12] TILLOTSON, E. *Ibid.*, **160**, 321, 1947.

La réactivité des radicaux libres en solution

H. W. MELVILLE

L'existence des radicaux libres est une notion bien établie et désormais courante; mais les premiers exemples connus, comme le triphénylméthyle, ont une réactivité relativement faible et ne peuvent amener que des réactions en nombre limité. Il y a plusieurs années que l'on a reconnu le rôle joué par les radicaux dans les réactions en phase gazeuse, mais l'étude quantitative du comportement des radicaux libres en solution est récente.

Il semble acquis, à la suite d'études toujours plus étendues des réactions non-ioniques aussi bien en phase liquide qu'en phase gazeuse, que leur mécanisme implique l'existence d'atomes ou radicaux libres. Ce qui paraît s'expliquer en gros par le fait que ce mécanisme est un moyen énergétiquement économique pour accomplir une catégorie donnée de transformations. Ainsi, considérons l'oxydation d'une aldéhyde (R.CHO) en peracide (R.COOOH). Le moyen le plus simple possible d'opérer la transformation est l'addition directe à l'aldéhyde, d'une molécule d'oxygène. Sans doute, il faudrait à chaque molécule une énergie considérable mais la transformation peut toujours se produire par les processus de choc qui ont lieu dans tout système où l'énergie se distribue suivant la loi de Maxwell.

En étudiant beaucoup d'autres exemples, on a réuni des preuves irréfutables de la présence des radicaux libres en solution. On recherche activement maintenant la nature et la concentration des radicaux mis en jeu, pour pouvoir déterminer quantitativement la vitesse d'intéraction des radicaux avec les molécules et les autres radicaux.

MESURE DE LA CONCENTRATION EN RADICAUX LIBRES

Les radicaux qui entrent en jeu lors de l'oxydation, de la polymérisation additive des dérivés éthyléniques et de l'addition d'acide bromhydrique, de tétrachlorure de carbone, etc., aux oléfines, sont très réactifs et leur concentration doit être relativement faible. De sorte qu'aucun procédé physique direct (la mesure du paramagnétisme, par exemple) ne sera sans doute assez sensible pour révéler leur existence. D'autre part, quand la réaction se poursuit régulièrement, les radicaux disparaissent au fur et à mesure de leur formation. Par suite, si I est leur taux de formation, quel qu'en soit le mécanisme, et $k_t(P)^2$ leur vitesse d'intéraction, k_t n'étant qu'une constante de réaction bimoléculaire, on a:

$$I = k_t(P)^2 \text{ et } (P) = (I/k_t)^{\frac{1}{2}}.$$

Il est donc nécessaire, pour résoudre cette difficulté, de trouver un moyen de compter le nombre de radicaux formés et aussi d'observer la vitesse à laquelle les radicaux réagissent l'un sur l'autre, et en conséquence, disparaissent.

Le moyen le plus direct de se renseigner sur le taux de production des radicaux est sans doute de supprimer tout simplement la réaction par l'addition d'un inhibiteur puissant. C'est possible dans la polymérisation de divers dérivés éthyléniques tels que l'acétate de vinyle ($CH_2{=}CH.O.COCH_3$), où la benzoquinone remplit ce rôle.

Quand on élimine l'inhibiteur, la réaction se poursuit à une vitesse qui se trouve précisément identique à celle de la réaction normale. Ceci signifie simplement que la quinone réagit avec tous les radicaux formés sans affecter leur taux de formation.

Une autre méthode consiste à retarder la réaction. Par exemple, l'oxydation des aldéhydes aliphatiques est retardée par l'hydroquinone qui est à son tour décomposée chimiquement. Dans ce cas, les radicaux, probablement R—OO—, réagissent avec l'hydroquinone au lieu de réagir l'un sur l'autre. Ainsi, à l'apparition initiale d'un radical correspond la destruction d'une molécule d'hydroquinone. Le problème analytique revient à déceler la disparition de très petites quantités d'hydroquinone.

Une troisième méthode, applicable seulement aux réactions de polymérisation consiste à mesurer le nombre de molécules polymères obtenues, en admettant que chaque molécule polymère résulte de l'addition d'un radical au monomère, transformé à son tour en radical, et ainsi de suite:

$$R + CH_2{=}CHX \rightarrow R{-}CH_2{-}CHX{-}, \text{ etc.}$$

La mesure de la vitesse de combinaison des radicaux est un problème bien plus ardu. Si l'on supprime brusquement la source de radicaux, leur concentration va se mettre à diminuer immédiatement, et toute réaction induite dans le système par ces radicaux diminuera de vitesse en proportion. Il est heureux que, lorsque les radicaux ont une origine photochimique, on puisse arriver facilement à ce résultat par brusque interruption de l'irradiation. La difficulté expérimentale est alors d'observer une diminution de vitesse de réaction dans un intervalle de temps relativement court, car les radicaux sont éphémères. Jusqu'à ces derniers temps, on ne savait pas faire cette observation directement, et l'on utilisait une ancienne méthode [1]. L'irradiation est intermittente, avec un intervalle entre les éclairs variable, mais mesurable avec précision. Qualitativement, le principe consiste en ceci: Si un éclair lumineux est absorbé par le système, il se forme des radicaux avec une certaine concentration. Dans l'intervalle d'obscurité, cette concentration décroît. Mais si un nouvel éclair frappe le système avant la disparition totale de ce premier groupe de radicaux, les radicaux du deuxième groupe en accélèrent par leur présence l'élimination, en réagissant rapidement avec eux. Cet effet dépend de l'intervalle entre les éclairs. Par suite, la vitesse de réaction est fonction de cet intervalle. Une étude précise et approfondie permet de calculer la durée de vie des radicaux dans des conditions d'illumination permanente [2]. Quoiqu'il en soit, la durée de vie moyenne d'un radical est égale à $(P)/k_t(P)^2$, c'est-à-dire au rapport de la concentration à la vitesse de disparition. Mais $k_t(P)^2 = I$, si bien que l'on peut calculer (P).

La durée de vie des radicaux s'est révélée notablement plus grande que l'on s'y attendait. En phase gazeuse, il est rare de trouver des radicaux aliphatiques simples qui durent plus de 10^{-3} seconde, mais dans certaines réactions de polymérisation, comme celle du styrène

$$(CH_2 = CH.C_6H_5),$$

poursuivie dans des circonstances favorables, on a observé des durées de vie atteignant 10^2 secondes. Avec de telles durées, on peut observer directement la chute de la réactivité chimique après suppression de la radiation excitatrice, à condition de pouvoir mettre en évidence de faibles évolutions dans le cours de la réaction [3]. Ainsi, dans les polymérisations, une contraction de 10 à 20% accompagne une polymérisation de 100%. Un dilatomètre assez sensible révèlera l'apparition du polymère à une concentration de $1/10^7$, et on pourra mesurer facilement la chute de concentration en radicaux libres, pour des périodes d'une minute ou plus. De même, les molécules polymères formées pendant cette période contribuent à la viscosité du système. Comme elle est très sensible à l'addition de petites quantités de polymère, son accroissement permet de mesurer cette diminution de la concentration en radicaux [4]. On peut utiliser aux mêmes fins, avec des instruments très sensibles, les variations de constante diélectrique à haute fréquence (100 Mc/s), ou, pour un liquide, les variations d'indice de réfraction, mesurées par interférométrie. Dans les systèmes à polymérisation, la concentration en radicaux libres n'est jamais élevée: généralement de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-10} molécule-gramme par litre, la concentration du monomère étant elle-même de l'ordre de 10 molécules-gramme par litre. On peut difficilement dépasser ce chiffre, en raison de la limitation en intensité du rayonnement ultra-violet polymérisant. On pourrait y arriver par une décomposition thermique très rapide des molécules, avec formation de radicaux, mais alors la réaction n'est plus isotherme, ni par suite susceptible d'une étude convenable.

L'évolution et le développement de ces nouvelles méthodes pour analyser le mécanisme des réactions nous ouvrent un vaste champ d'enquête, et donnent sur le comportement des radicaux une richesse d'information qu'aucune méthode d'approche normale ne serait en mesure de fournir. Peut-être le problème le plus simple concerne-t-il le mécanisme de la réaction réciproque de deux radicaux. En particulier, pour les polymérisations, l'une des premières questions est de savoir si la vitesse de réaction dépend des dimensions du radical polymère. Il est relativement facile de changer les dimensions d'un radical, mais le résultat est inattendu: La réactivité est pratiquement indépendante des dimensions. Ainsi, dans la polymérisation de l'acétate de vinyle, dans le radical $—(CH_2—CH.O.COCH_3)_n$, un accroissement en unités monomères de 176 à 352 n'a pour effet qu'une légère diminution de la constante de vitesse d'intéraction bimoléculaire (de $3{,}1 \cdot 10^9$ à $2{,}5 \cdot 10^9$ litres par molécule-gramme et par seconde) [2]. On aurait pu s'y attendre, car ces radicaux se trouvent très étendus en solution, et leur chaîne d'atomes présente une souplesse considérable, due à la rotation plus ou moins libre des groupements autour des liaisons simples. C'est ainsi que l'extrémité du radical présente une très grande mobilité et devrait presque se comporter comme

un petit radical isolé. L'analogie ne peut se poursuivre trop loin; si le milieu devient visqueux, la vitesse d'intéraction des radicaux devient pratiquement nulle, en raison d'une diminution de mobilité. Il est donc probable que dans un milieu presque solide, leur durée de vie pourrait devenir exceptionnellement longue; il en existe des preuves récentes. Cependant, si nous revenons à notre analogie aux petits radicaux, il est intéressant de voir à quelle vitesse ils peuvent réagir, en supposant que la réaction ne nécessite aucune énergie. Si l'on exprime les vitesses de réaction en molécules-gramme, litres et secondes, la valeur maxima possible de la constante bimoléculaire est 10^{11}. Dans le premier tableau se trouvent les constantes d'intéraction pour toute une série de monomères. Dans tous les cas, les chiffres sont très inférieurs à 10^{11}. Cela n'est pas surprenant, car il n'est pas facile aux radicaux de s'orienter de façon à ce que l'intéraction chimique puisse avoir lieu. Il y a un point anormal: les fortes variations de réactivité dans une même série. Cela met en évidence une influence importante de la structure chimique sur une réaction relativement simple. Mais, pour les réactions d'oxydation, où les radicaux en jeu sont du type RO_2, on trouve une valeur plus normale pour la constante d'intéraction — mais tout vient de ce que le groupement R n'a pas d'effet important sur la réactivité.

Au point de vue chimique, production et désintégration de radicaux ont relativement peu d'importance, sinon dans leur action sur la vitesse de réaction. Lorsqu'un radical réagit sur un monomère, c'est une réaction d'addition, par exemple:

$$R-CH_2-CHX + CH_2=CHX \rightarrow R-CH_2-CH-CH_2-CHX-$$

et le radical se reconstitue. Ce cycle peut se reproduire 10 000 fois. De même dans les oxydations, la réaction de RO_2 avec le composé RH oxydé n'aboutit pas à une désintégration. Ainsi la vitesse de la réaction globale peut s'exprimer très simplement en tant que vitesse à laquelle les radicaux épuisent soit le monomère, soit les molécules RH ou, plus brièvement, sous la forme $k(P)(M)$, où k représente seulement une constante bimoléculaire, caractéristique de la réaction radical-molécule étudiée, c'est-à-dire, une mesure numérique de la réactivité. (P) étant désormais connu, on peut calculer k. Comme pour les réactions de radicaux libres, la valeur maxima de k serait 10^{11}, mais en fait, les valeurs du tableau II, qui se rapportent à des polymérisations, sont beaucoup plus faibles. Il y a deux raisons à cela. Il faut une certaine énergie d'activation, bien qu'il s'agisse de radicaux. Elle exprime la répulsion subie par un radical à l'approche du monomère au moment de l'addition. On peut l'évaluer; les chiffres sont dans la 3ème colonne. Le facteur correspondant, de la forme $e^{-E/RT}$ peut être éliminé de la constante de vitesse, ce qui laisse un facteur indépendant de la température, et cependant encore bien inférieur à 10^{11}. Ceci aussi met clairement en évidence l'influence des effets de structure sur la réactivité radical-molécule.

Les radicaux polymères ne s'ajoutent pas toujours au monomère. Parfois ils lui enlèvent un atome d'hydrogène:

$$R - + CH_2 = CHX \rightarrow RH + CH_2 = CX.$$

Là encore, la réactivité du radical est conservée, mais, bien entendu, la continuité de la chaîne polymère est nécessairement interrompue. Cette catégorie de réactions de déshydrogénation a la grave conséquence de limiter les dimensions du polymère dont on pourrait obtenir la synthèse. On peut évaluer sa probabilité relative, par rapport à celle de la croissance du polymère, en mesurant simultanément le nombre d'unités monomères du polymère, et le nombre d'unités monomères polymérisées en tout correspondant à chaque radical produit initialement. Par exemple, avec le styrène, à 25°, la probabilité relative de cette réaction de transfert à celle de croissance est 10^{-3} [5]. Si le transfert produit un radical non réactif, comme pour les composés allyliques ($CH_2 = CH - CHX$) l'accroissement moléculaire s'arrête aussi à ce stade.

Un solvant ajouté au système peut agir comme diluant inerte. Toute variation dans la vitesse de formation et le poids moléculaire du polymère

TABLEAU I

Monomère	*Constante d'intéraction des radicaux polymères (litres/mol gr/secondes)*
$CH_2=CH.COOC_4H_9$ ..	$1{,}8 \cdot 10^4$
$CH_2=CH.C_6H_5$	$7{,}9 \cdot 10^6$
$CH_2=C(CH_3)COOCH_3$ ..	$2{,}7 \cdot 10^7$
$CH_2=CHO.COCH_3$ ..	$3{,}9 \cdot 10^8$
Réaction d'oxydation	***Constante d'intéraction des radicaux RO_2***
Cyclohexène	$0{,}95 \cdot 10^6$
1-Méthyl-cyclohexène ..	$0{,}50 \cdot 10^6$
Dihydromyrcène	$0{,}65 \cdot 10^6$
Linoléate d'éthyle	$0{,}50 \cdot 10^6$

TABLEAU II

Monomère	*Constante de la réaction monomère—radical polymère à 25° C*	*Energie nécessaire à la croissance du radical en Kcal*	*Facteur de choc une fois l'énergie fournie*
$CH_2 = CH.COOC_4H_9$	20	6,0	$5,1 \cdot 10^5$
$CH_2 = CH.C_6H_5$	40	6,0	$9,0 \cdot 10^5$
$CH_2 = C(CH_3)COOCH_3$	200	5,0	$9,5 \cdot 10^5$
$CH_2 = CH.O.COCH_3$	800	4,4	$1,8 \cdot 10^6$

relève de la loi d'action de masse. Plus souvent, cependant, il se produit un transfert, par extraction d'hydrogène (ou peut-être d'halogène), et le radical ainsi formé peut réagir si vite sur le monomère que rien d'autre ne peut lui arriver. Là encore jouent des réactions compétitives. Un radical polymère peut, soit s'accroître d'une nouvelle unité monomère, soit réagir avec le solvant, ce qui va interrompre son allongement. C'est la mesure quantitative de l'effet de la concentration du solvant sur le poids moléculaire du polymère obtenu qui nous renseigne à ce sujet, il est donc possible, si l'on connaît la vitesse d'allongement du radical polymère, de calculer la vitesse absolue du processus de transfert. Il est difficile d'analyser ce processus au moyen de l'écriture chimique, mais il est vraisemblable que, dans un hydrocarbure, c'est l'hydrogène le plus faiblement lié au carbone qui partira. Ainsi, le radical styryle attaque ces carbures aromatiques dans l'ordre suivant:

$$\underset{\textit{isopropylbenzène}}{C_6H_5—\overset{*}{C}H—(CH_3)_2} > \underset{\textit{éthylbenzène}}{C_6H_5—\overset{*}{C}H_2—CH_3} > \underset{\textit{toluène}}{C_6H_5—\overset{*}{C}H_3} > \underset{\textit{benzène}}{C_6H_6}$$

en enlevant les atomes d'hydrogène marqués d'une astérisque. Quant aux radicaux qui en résultent, leur aptitude à provoquer des transferts variera en sens inverse. Certaines molécules, comme l'acétate de vinyle

$$(CH_2 = CH.O.COCH_3)$$

ne sont pas particulièrement réactives vis-à-vis de radicaux de ce type, et ces derniers peuvent disparaître en partie dans des réactions secondaires. Dans ces cas-là, les agents de transfert ont d'abord un rôle ralentisseur.

Si le radical issu du transfert ne réagit pas du tout avec le monomère, on le classe comme agent de ralentissement. En partant exactement du même principe, on peut aussi définir numériquement sa réactivité. On trouve que dans le cas des systèmes hydroquinone/quinone, le potentiel d'oxydo-réduction est une fonction linéaire du logarithme de la constante de vitesse dans le cas du ralentissement, ce qui nous donne une relation très directe entre réactivité et structure moléculaire.

Ces études ont pu être étendues avec succès à la copolymérisation de deux monomères A et B, où alors les unités monomères sont unies pour former une même macromolécule. En fixant A et en étudiant la *composition* du copolymère formé au moyen d'une série de monomères B, il est possible d'évaluer la réactivité, mettons d'un radical styryle vis-à-vis de tout un groupe de monomères. Ceci fournit encore des données solides sur les relations entre la réactivité et la structure moléculaire [7]. De même, au moyen de l'étude du taux de production du copolymère, il est possible d'étudier les réactions entre des radicaux polymères différents. Les réactions entre radicaux différents sont spécifiques tout comme celles entre radicaux semblables.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BRIERS, F., CHAPMAN, D. L., et WALTER, E. *J. Chem. Soc.*, 562, 1926.

[2] BURNETT, G. M., et MELVILLE, H. W. *Proc. Roy. Soc., A*, **189**, 456, 1947.

[3] MELVILLE, H. W. «*Third symposium on Flame and Combustion*». Université de Wisconsin. 1940.

[4] BAMFORD, C. H., et DEWAR, M. J. S. *Proc. Roy. Soc., A*, **192**, 309, 1948.

[5] VALENTINE, L., et MELVILLE, H. W. *Trans. Faraday Soc.* (sous presse).

[6] GREGG, R. A., et MAYO, S. R. «*Discussion of the Faraday Society on the Labile Molecule*». p. 328. 1947.

[7] MAYO, S. R., LEWIS, F. M., et WALLING, C. *Ibid.*, p. 285, 1947.

[8] VALENTINE, L., et MELVILLE, H. W. *Proc. Roy. Soc.* (sous presse).

Revue des livres

LA SÉPARATION DES GAZ

The Separation of Gases, *par M. Ruhemann. Seconde édition. Pp.* XII + 307. *Clarendon Press, Oxford.* 1949. 30*s.*

La plupart des gaz se présentent à l'état naturel au sein de mélanges compliqués; les produits gazeux élémentaires de l'industrie contiennent un certain nombre d'espèces chimiques à des concentrations diverses. Avant qu'on puisse les utiliser il est en général nécessaire de changer leurs concentrations relatives ou, en d'autre cas, de séparer les espèces pures qu'ils contiennent.

La base scientifique de la séparation des gaz ou de la modification de la concentration relative des différentes espèces d'un mélange, se trouve dans les conditions d'équilibre thermodynamique exposées par Willard Gibbs. Pour qu'un système soit en équilibre thermodynamique par rapport à un corps composant, il faut que son potentiel partiel ou chimique soit le même dans chaque phase du système. Cette condition sous-entend une différence de concentration dans les phases, car un composant a tendance à passer d'une phase où son potentiel partiel est élevé à une autre où il est inférieur.

L'ouvrage nous expose tous ces principes thermodynamiques et la façon dont on les a appliqués pour découvrir une méthode de séparation des gaz. Les grands procédés industriels dépendent essentiellement de la liquéfaction aux basses températures dont l'auteur passe en revue la théorie et la pratique.

A. R. MILLER

LIBERTÉ ET DÉTERMINISME

The Freedom of Necessity, *par J. D. Bernal. Pp.* XI + 437. *Routledge and Kegan Paul Limited, Londres.* 1949. 18*s.*

Le déclin où tomba la science entre 1810 et 1830 fut causé dans une large mesure par l'attitude hostile des maîtres de l'argent et du pouvoir à l'envers d'une science associée à l'irréligion et au jacobinisme: telle est l'opinion de M. le Professeur Bernal. Et pourtant, on pourrait difficilement choisir deux décades ayant un record plus impressionnant de découverte scientifique. Elles virent la naissance de quatre grandes sciences modernes: l'électromagnétisme, la chimie biologique, l'histochimie et la cytologie. A supposer même qu'une vingtaine d'années ait été une période de décadence scientifique, il nous est impossible de vérifier que ce déclin ait été dû à la réaction des riches et du pouvoir. (Si des affirmations sans preuves et de la fausse histoire peuvent influencer favorablement les gens à l'égard du régime soviétique, c'est le résultat que nous obtiendrons avec *Freedom of Necessity*).

M. le Professeur Bernal écrivit en 1935 au sujet des chromosomes, et imprime à nouveau dans l'ouvrage actuel, que «la découverte du fonctionnement de l'hérédité par la théorie des chromosomes fournit le mode matériel de transformation grâce auquel les êtres vivants se développent et se reproduisent». S'il lui est permis d'imprimer ce fait exact (qui est hérésie en U.R.S.S. aujourd'hui), c'est uniquement parce qu'il a la chance d'être citoyen d'un pays où la science est encore libre.

Sa remarque selon laquelle il n'existe de branche de l'activité humaine dépendant plus que la science du maintien de la liberté est contraire à toute son insistance sur la nécessité d'une direction centrale scientifique.

JOHN R. BAKER

HISTOIRE ET IMPORTANCE SOCIALE DE LA POMME DE TERRE

The History and Social Influence of the Potato, *par Redcliffe N. Salaman, avec un chapitre sur les usages industriels par W. G. Burton. Pp.* XXIV + 685, *avec* 32 *planches et* 25 *figures dans le texte. University Press, Cambridge.* 1949. 50*s.*

Dans ce livre très original, l'auteur qui a étudié pendant plus de quarante ans la génétique et les maladies de la pomme de terre et dont l'ouvrage *Potato Varieties* est devenu classique, essaie ici de résoudre certaines questions comme celle du pays d'origine de la pomme de terre cultivée, du genre de populations qui l'utilisèrent pour la première fois, d'où, quand et comment elle fut importée en Europe et, dans certains pays est parvenue à supplanter avec quels résultats les céréales comme principal aliment végétal.

Des poteries préhistoriques nous suggèrent que longtemps avant la période des Incas, les tribus indigènes des plateaux andais utilisaient certaines espèces de *Solanum* à tubercules dont la plus importante était un hybride tétraploïde, ancêtre de notre pomme de terre. Utilisée par les Espagnols comme aliment bon marché et à grand rendement pour leurs esclaves dans les mines d'argent, elle fut importée en Europe avant 1570 et fut cultivée d'abord à Séville. En tant que curiosité et aliment de luxe, elle passa en Europe occidentale mais ne fut que lentement adoptée comme nourriture de tous les jours. Reconnaissant le conservatisme des peuples en matière alimentaire, Salaman croit que les changements radicaux de mode de nourriture ne se produisent que lorsque des facteurs économiques et politiques forcent un changement même si le sol et le climat sont éminemment favorables à la nouvelle plante.

T. G. B. OSBORN

MOLÉCULES ET CRISTAUX EN CHIMIE MINÉRALE

Molecules and Crystals in Inorganic Chemistry, *par A. E. van Arkel. Traduit par J. C. Swallow. Pp.* IX + 234. *Butterworth's Scientific Publications Limited, Londres.* 1949. 17*s.* 6*d.*

Ce livre de M. le Professeur Arkel jouit d'une grande réputation dans les universités des Pays-Bas et la traduction actuelle est basée sur la troisième édition hollandaise en voie de préparation. L'auteur croit qu'une compréhension poussée des implications du lien hétéropolaire fournit une vue d'ensemble de la chimie minérale. Dans les chapitres de début il étudie comment la théorie du lien électrostatique peut expliquer un certain nombre de phénomènes en chimie minérale. Il fait ressortir toutefois les limites de cette méthode et de là présente au lecteur d'autres liens chimiques qui sont étudiés dans la partie ultérieure de l'ouvrage. Le livre est destiné aux étudiants de première année de science ou de médecine mais on doute que ces mêmes étudiants aient des connaissances de chimie générale suffisantes pour véritablement en profiter. Il sera toutefois intéressant et stimulant pour des étudiants de science à un stade plus avancé de leurs études. L'auteur est sans doute audacieux parfois dans ses spéculations théoriques, mais cela ajoute de la valeur au texte. Le Dr J. C. Swallow s'est acquitté de sa tâche de traducteur avec précision et élégance.

W. WARDLAW

CHIMIE DES SURFACES

Surface Chemistry: *articles présentés à l'occasion d'un débat de la Société de Chimie Physique et de la Faraday Society, en octobre* 1947. *Pp.* 344. *Butterworth, Londres.* 1949. 25*s.*

Ce volume nous offre, en anglais et en français, 42 articles spécialement écrits pour la réunion tenue en l'honneur du vétéran Henri Devaux. Le premier article qui traite d'ingénieuses expériences à propos de l'action de l'humidité dans l'air sur la surface de pellicules de sels et de sucre sur du mercure a été écrit par lui-même. L'ouvrage comprend des contributions sur la plupart des branches de la chimie des pellicules, un résumé concis et puissant par Guggenheim des théorèmes sur la thermodynamique des surfaces, plusieurs autres sur les changements de phases et équilibres dans les surfaces et une méthode de séparation de l'hémoglobine et de la catalase par l'émulsion. Plusieurs articles venant de Cambridge essaient de s'attaquer au problème complexe de l'interprétation de l'action biologique de divers produits en particulier des savons et produits similaires, en termes de leur activité de surface. Il y a un certain nombre d'articles sur les couches monomoléculaires de graisses et de protéines et sur leur intéraction avec les substances solubles; deux articles sur la distribution des ions près des surfaces et des micelles ioniques; certains traitent de méthodes. Comme il arrive généralement lorsqu'il s'agit de débat, certains articles traitent de travaux déjà publiés mais le volume est de grande valeur.

N. K. ADAM

LA NUTRITION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX

Inorganic Nutrition of Plants, *par D. R. Hoagland. Pp.* 226, *avec* 28 *planches et* 44 *figures dans le texte. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., U.S.A., et Wm. Dawson and Sons Limited, Londres.* 1948. $4.50.

Ce livre renferme les *Conférences Prather* données à Harvard et publiées pour la première fois au cours de 1944. Leur réimpression sera la bienvenue car elles constituent une bonne revue générale des travaux de M. le Professeur Hoagland et de ses collègues en Californie et autres recherches similaires.

Le mérite de cet ouvrage tient à la largeur de vue qui caractérise toute l'œuvre de son auteur. Sa contribution à l'étude des colloïdes du sol et des solutions de terre végétale, portant un intérêt spécial aux aspects quantitatifs de l'absorption et du déplacement du potassium est tout à fait digne d'attention. Il fut un des premiers à comprendre la signification de l'accumulation des ions dans les cellules végétales et à démontrer que l'absorption des sels dépend des rapports d'énergie des cellules. Il a aussi grandement accru notre connaissance des relations entre absorption ionique et métabolisme des cellules et, ce qui n'est pas négligeable, a largement contribué à l'amélioration de nos méthodes. Son style est simple et agréable.

W. H. PEARSALL

ORGANISATION DE LA RECHERCHE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

The Practice of Research in the Chemical Industries, *par R. H. Griffith. Pp.* 184. *Oxford University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

Bien que l'auteur rejette toute prétention à la nouveauté, son ouvrage réunit en un compte-rendu logique et agréable à lire des buts et des méthodes de la recherche industrielle chimique, toute une variété d'opinions tirées de sources dispersées qu'il étudie.

Les pages sur le recrutement, l'entraînement et le bien-être du personnel, terrain familier à tout chef de service de recherche viennent à point rappeler au chercheur que la bonne administration de la recherche industrielle a d'autres aspects que ceux de la science pure.

On pourrait critiquer la place accordée dans un ouvrage de cette sorte à certains des chapitres plus détaillés, comme ceux qui traitent du plan des laboratoires et des systèmes de répertoire, et dans un domaine où les besoins locaux sont si divers, les généralisations excessives peuvent porter à erreur; mais il faut rendre justice à l'auteur qu'il s'en soit rendu compte.

Dans l'ensemble ce livre mérite entièrement l'intérêt de ceux qu'il concerne, que ce soit dans la pratique de la recherche chimique industrielle ou dans l'utilisation de ses résultats. A l'étudiant aussi, il fera entrevoir les problèmes spéciaux dus à l'application de la recherche à l'industrie.

L. W. CODD

PRINCIPES OPTIQUES DE LA DIFFRACTION DES RAYONS X

The Optical Principles of the Diffraction of X-Rays, *par R. W. James. Pp.* xv + 623, *avec* 224 *illustrations linéaires et en demi-teintes. G. Bell and Sons Limited, Londres.* 1948. 80*s.*

Il y a près de vingt ans que Messieurs Bragg et leurs collaborateurs entamèrent la préparation d'une série de volumes intitulés: *The Crystalline State.* Le premier volume, étude d'introduction par W. L. Bragg parut en 1933, mais tant d'obstacles ont surgi depuis que c'est aujourd'hui seulement que nous voyons se réaliser le second stade du plan. Entre-temps, les progrès de la découverte ont tellement dépassé l'esquisse première que le deuxième volume actuel ne couvre qu'une partie du volume escompté tout d'abord et même ainsi se trouve plus long que l'auteur ne se le proposait. Il est certainement trop long et trop détaillé pour qu'il lui soit ici rendu justice. Tout ce qu'on peut faire est en citer les en-têtes principales: Théorie géométrique de la diffraction par les structures fenestrées; Intensité de la réflexion des rayons X par les cristaux; Facteur de dispersion atomique; Dispersion et éparpillement anormaux des rayons X; Influence de la température sur la diffraction des rayons X par les cristaux; Vérifications expérimentales des formules d'intensité; Utilisation de la série de Fourier dans l'analyse des cristaux; Perfectionnement de Laue de la théorie dynamique; Dispersion des rayons X par les gaz, les liquides et les solides amorphes; Diffraction par les petits cristaux; Appendices. M. le Professeur James, ancien membre de l'école Bragg de Manchester a réalisé là un travail excellent et une addition remarquable à la littérature de l'analyse des structures.

W. T. ASTBURY

LA GÉNÉTIQUE BIOMÉTRIQUE

Biometrical Genetics, *par le Professeur K. Mather. Pp.* ix + 162, *avec plusieurs diagrammes linéaires. Methuen and Company Limited, Londres.* 1949. 18*s.*

La théorie classique de la génétique traite en détail des cas de variation discontinue comme l'existence de chats noirs, roux et blancs. On sait depuis longtemps qu'une variation gradée de façon continue, telle que celle de la taille de l'homme, s'hérite aussi d'après la loi de Mendel, étant due à l'effet combiné de plusieurs gènes dont chacun n'a en soi qu'un effet limité. Ce livre expose les méthodes récemment découvertes d'analyse des variations continues. Bien qu'il soit impossible d'étudier séparément aucun gène, on peut cependant par des méthodes statistiques appropriées montrer la séparation, la prédominance et le lien des gènes.

Le livre est écrit très clairement et toutes les formules nécessaires à l'analyse sont bien disposées. Ces formules ne sont strictement exactes que sous certaines réserves, en particulier celle selon laquelle les effets des gènes s'ajoutent exactement. C'est une chose peu vraisemblable en réalité mais M. le Professeur Mather reconnaît ces réserves et montre comment les erreurs qui résulteraient du fait de les ignorer, peuvent être réduites à peu de chose par l'usage d'échelles appropriées de mesure.

C. A. B. SMITH

LES COULEURS ET L'ŒIL HUMAIN

Colours and how we see them, *par H. Hartridge. Pp.* 158. *G. Bell and Sons Limited Londres.* 1949. 15*s.*

C'est au cours de l'hiver 1946–7 que M. le Professeur Hartridge donna à la *Royal Institution* la série de conférences de fin d'année qu'il nous offre maintenant sous forme d'ouvrage. Les quatre premiers chapitres forment une étude extrêmement claire et intéressante des propriétés du spectre, de la façon dont sont produites les couleurs, de leurs usages, de la façon dont nous les voyons, tandis que les deux derniers présentent quelques expériences et paradoxes captivants obtenus avec les couleurs. Le livre s'adresse essentiellement au lecteur moyen car il ne suppose que des connaissances scientifiques élémentaires. On imagine difficilement d'autres ouvrages sur la question où soient réunies tant d'élégantes démonstrations.

Au chapitre IV M. le Professeur Hartridge résume rapidement l'anatomie et la physiologie de l'œil ainsi que les mécanismes de l'accommodation et de la convergence. Il mentionne de nombreuses théories de la vision des couleurs en commençant par celle de Thomas Young et offre finalement une explication simple du mécanisme supposé de la vision des couleurs basée sur la théorie de Young en même temps qu'il admet la complexité du problème, encore incomplètement résolu.

Le livre est illustré de quatre planches en demi-teintes, douze planches en couleurs et un grand nombre de diagrammes linéaires dans le texte. On regrette que dans un livre sur ce sujet les planches en couleurs ne soient pas de la plus haute qualité possible à cause d'un papier trop absorbant, et que certaines souffrent d'un repérage imparfait des trois couleurs.

J. M. M. PINKERTON

L'ART DE LA CHIMIE DANS LA CHINE D'AUTREFOIS

The Chemical Arts of Old China, *par Li Ch'iao-p'ing, avec un avant-propos de Tenney L. Davis. Pp.* XII + 215. *Journal of Chemical Education, Easton, Pennsylvania.* 1948.

La dernière lettre de M. le Professeur T. L. Davis, écrite peu de temps avant sa mort en janvier 1949, se termine sur ces mots: «d'histoire de la science est l'essence de l'humanisme». A la lumière de cette affirmation comprend-on immédiatement sa dévotion ardente et inestimable à la cause de la publication du livre ci-dessus. Les ouvrages de valeur traitant de l'évolution de la chimie et de la chimie appliquée en Orient sont extrêmement rares et ce livre de M. le Professeur Li de la *National North-Eastern University* à Moukden acquiert donc une valeur spéciale.

Un court chapitre sur l'alchimie chinoise est suivi d'une revue historique comprenant métaux, sel, industries de la céramique, laque, poudre à canon, teintures, huiles, encens, sucre, papier, boissons alcooliques et sujets similaires. Au cours de chacun de ses quinze chapitres, l'auteur nous dévoile pendant un court moment un vaste terrain que le lecteur attend avec avidité d'étudier plus en détail. On peut citer parmi les traits les plus remarquables de cette œuvre de présentation exquise, les dessins finement exécutés qui rappellent les fines décorations de la porcelaine de Nankin; les procédés de fabrication de l'encre de Chine par exemple sont exposés en une série de dix charmantes illustrations du même genre. En raison de la nature de l'ouvrage, un index serait grandement apprécié. Une documentation élargie est aussi souhaitable. Ainsi dans l'étude de certains travaux de Chikashige sur d'anciens objets de bronze, on ne trouve aucune référence au livre de cet auteur intitulé: *Alchemy and Other Chemical Achievements of the Ancient Orient* (Tokio 1936) qui contient tant de renseignements voisins. Mais la principale critique que l'on puisse adresser à ce livre véritablement passionnant est celle d'être trop bref.

JOHN READ

DES DEUX CÔTÉS DE LA ROUTE

Both Sides of the Road, *par Sidney Rogerson. Illustré par Charles Tunnicliffe. Pp.* 183, *avec* 107 *gravures sur bois en blanc et* 23 *en couleurs. Collins, Londres.* 1949. 21*s.*

Ce livre a pour but «d'intéresser les lecteurs de tous âges aimant la campagne désireux de mieux connaître la vie des champs». Ce sont les champs d'Angleterre dont il est question. L'auteur nous fait d'abord effectuer un voyage par route de l'est à l'ouest des Iles Britanniques et un autre par train du nord au sud, pour nous donner une idée des terres à cultiver. Enfin seulement se résout-il à nous parler de l'agriculture, d'une plume si aisée que les descriptions techniques sont un plaisir à lire. Citons par exemple cette remarquable description d'un pré maigre: «En hiver le pré ou pâturage maigre attire le regard avec son herbe courte, pustulée de taupinières et de fourmilières comme autant d'excroissances herbeuses. . . . Les ronces harponnent de leurs tentacules sauvages les haies exubérantes et les mornes orties croissent dans les fossés. Le gazon se couvre d'abord de longues marguerites et de boutons d'or touffus: puis des hallebardes grises et de la pourpre hirsute du chardon, enfin des hampes drues et jaunes de la jacobée dont la présence décèle à coup sûr un champ usé. Les herbes succulentes et nourrissantes qui justifient les pâturages permanents refusent d'y pousser». Nous trouvons aussi un exposé très complet des aspects essentiels de l'agriculture anglaise et les bois de Charles Tunnicliffe rendent superflues de longues descriptions dans le texte. Les illustrations permettent d'apprendre à reconnaître instantanément les différentes races de vaches, de moutons et de porcs ainsi que les diverses cultures des champs.

R. E. SLADE

CHIMIE ORGANIQUE PRATIQUE

Practical Organic Chemistry, *par J. J. Sudborough et T. Campbell James. Pp.* 450. *Blackie and Son Limited, Londres.* 1949. 15*s.*

Le livre est depuis de nombreuses années un manuel hautement apprécié de chimie organique pratique. Il parut pour la première fois en 1909 et fut révisé en 1924. La publication d'une nouvelle édition est donc un événement que maîtres et étudiants accueilleront avec plaisir. L'ouvrage a été complètement revu de façon à inclure les changements qui se sont produits en chimie organique pendant ces vingt-cinq dernières années mais les meilleurs points des éditions antérieures ont été conservés. Sous sa forme actuelle il répond admirablement aux besoins des étudiants jusqu'à leur année finale d'études. Outre tous les anciens succès

depuis longtemps éprouvés, on y trouve maintenant des exemples de techniques plus modernes comme la chromatographie, la micro-analyse, la chlorométhylation et la réaction de Diels-Alder. La plus grande partie du volume consiste en une succession méthodiquement agencée de préparations mais on y trouve aussi des pages sur les méthodes quantitatives d'analyse, des expériences de détermination de vitesses de réaction et une esquisse de l'analyse organique qualitative. Il aurait été préférable d'utiliser la nomenclature *d-* ou *l-* pour les sucres et des références plus fréquentes aux «Synthèses Organiques» et moins nombreuses aux publications de début auraient été souhaitables. Il ne s'agit là, toutefois, que de points de détail qui n'altèrent en rien l'opinion de celui qui écrit cet article sur un livre que ses qualités font fortement recommander.

E. L. HIRST

CHIMIE ET USAGES DES INSECTICIDES

The Chemistry and Uses of Insecticides, *par E. R. de Ong. Pp.* 345, *avec des diagrammes linéaires et en demi-teintes. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall, Londres.* 1948. 36*s.*

On qualifiera sans doute mieux ce livre par le terme «technologique» que par celui de «scientifique». C'est en effet une revue minutieuse de faits et de détails pratiques où les considérations théoriques ou spéculatives, comme les modes d'action biologique ou les relations entre structure moléculaire et toxicité, ont peu de place. Bien que l'éditeur nous affirme sur la couverture qu'il s'agit d'une étude très systématique, cette absence de fond théorique a produit dans le texte un enchaînement qui n'a rien de systématique. Le titre même est déconcertant à ce point de vue car l'auteur traite des fongicides avec autant de largesse que des insecticides. Il n'essaie nullement de séparer ces deux espèces différentes de produits protecteurs de la plante; ainsi un chapitre sur les composés arsenicaux comme insecticides est brusquement suivi d'un autre sur les composés fongicides du cuivre. Le choix dans la suite des sujets semble avoir été déterminé de façon purement chronologique. Et pourtant la quantité de renseignements rassemblés ici est impressionnante. La documentation est plus que généreuse; les listes de références données à la fin de chaque chapitre en comptent en général plus de 150. L'auteur a eu la sagesse de ne pas tomber dans des discussions de sujets d'actualité (effort d'autant plus méritoire qu'il était en Amérique au moment de la préparation de l'ouvrage) afin de consacrer toute son attention aux insecticides synthétiques modernes qu'il traite avec un grand sens des réalités. Dans la mesure où un livre peut demeurer dans un sujet aussi vaste et aussi changeant, un ouvrage de références exact, l'étude de M. de Ong sera une addition utile à de nombreuses bibliothèques de chimie et d'agriculture.

D. P. HOPKINS

Œuvres complètes de Christiaan Huygens, volume XXII. *Publié pour la Société hollandaise des Sciences à Haarlem par Martinus Nijhoff, La Haye.*

Cette édition commencée en 1888 des œuvres de Huygens étant maintenant presque complètement terminée, il est juste d'attirer l'attention du public scientifique sur une édition véritablement monumentale.

Le volume XXII traite surtout de correspondance diverse, de la biographie, du testament de Huygens et du répertoire de sa librairie.

Il existe des éditions antérieures d'un certain nombre de travaux de Huygens et de certaines parties de sa correspondance mais ces éditions sont depuis longtemps épuisées et très rares aujourd'hui. Elles sont de plus incomplètes, aucun des éditeurs ne s'étant donné la peine d'étudier attentivement tous les manuscrits que Huygens légua à la bibliothèque de l'Université de Leyde.

L'édition actuelle est particulièrement importante car elle contient, outre les œuvres imprimées (presque toutes en latin avec des traductions françaises) d'innombrables pages des manuscrits et un grand nombre des dessins et des croquis de Huygens avec la correspondance complète qu'il échangea avec la plupart des savants de son époque. Parmi la correspondance se trouvent beaucoup de lettres d'un caractère purement personnel de sorte qu'on a non seulement une vue excellente de la vie scientifique du XVIIe siècle, mais aussi celle de la vie privée d'une riche famille hollandaise.

Les chapitres sont tous précédés d'une préface, parfois très savante et tous les textes sont expliqués à l'aide de nombreuses notes au bas des pages. L'index très complet couvre la totalité de texte.

De nombreux savants, membres du comité d'édition ont contribué aux préfaces et aux notes.

C. A. CROMMELIN

HISTOIRE DE LA CHIMIE AU CANADA

A History of Chemistry in Canada, *réalisée par C. J. S. Warrington et R. V. V. Nicholls, avec un avant-propos de T. W. Smith. Pp.* x + 502, *avec* 13 *planches. Sir Isaac Pitman and Sons (Canada) Ltd., Toronto.* 1949. $4.50.

Publiée sous les auspices du *Chemical Institute of Canada* avec la collaboration de nombreux spécialistes, cette œuvre d'importance traite avec autorité du développement historique des divers domaines de la chimie au Canada surtout du point de vue industriel. L'étude débute avec les métaux, les dérivés du charbon, le pétrole et ses dérivés, les produits du four électrique, de l'électrolyse, du bois, de l'agriculture et de la mer, les remèdes chimiques et les produits rares, les explosifs, les huiles, les graisses, les cires et ainsi de suite. La documentation a été mise à jour dans chaque partie du livre et de nombreuses statistiques sont citées. Ainsi avons-nous sous les yeux un tableau réaliste des grandes ressources naturelles du Canada et de leur développement du point de vue chimique. D'autres chapitres traitent encore de la chimie et des services publics, de l'enseignement et de la recherche chimiques dans les universités canadiennes et autres établissements. On trouve beaucoup de détails sur les hommes qui sont à l'origine de la chimie au Canada dans les cercles industriels comme académiques. L'impression est bonne avec de nombreuses illustrations sous forme de photographies, de cartes, de portraits et de croquis.

JOHN READ

Livres reçus

CHEMICAL SOCIETY ANNUAL REPORTS. *Vol.* XLV, 1948. *Pp.* 379. *Chemical Society, Londres.* 1949. 25*s.*

MULTI-ENZYME SYSTEMS, *par Malcolm Dixon. Pp.* 100, *avec des diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 7*s.* 6*d.*

INTRODUCTION TO RADIOCHEMISTRY, *par Gerhart Friedlander et Joseph W. Kennedy. Pp.* 412, *avec diverses figures et illustrations en demi-teintes. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, Londres.* 40*s.*

ELECTRONIC INTERPRETATIONS OF ORGANIC CHEMISTRY, *par A. Edward Remick. Pp.* 600, *avec diverses figures. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, Londres.* 1949. 48*s.*

OUTLINES OF BIOCHEMISTRY, *par Ross Aiken Gortner. Troisième édition. Pp.* 1078, *avec de nombreuses figures. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, Londres.* 1949. 60*s.*

QUANTITATIVE ORGANIC ANALYSIS VIA FUNCTIONAL GROUPS, *par Sidney Siggia. Pp.* 152. *John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, Londres.* 1949. 24*s.*

HOW CHEMISTRY WORKS, *par Arthur J. Birch. Pp.* 218, *avec divers diagrammes linéaires. Sigma Books, Londres.* 1950. 8*s.* 6*d.*

CATHODE RAY TUBE TRACES, *par Hilary Moss. Pp.* 66, *avec de nombreux diagrammes linéaires. Electronic Engineering, Londres.* 1949. 10*s.* 6*d.*

COSMIC RAY PHYSICS, *par D. J. K. Montgomery. Pp.* 370, *avec de nombreux diagrammes linéaires. Princeton University Press, U.S.A.; Oxford University Press, Londres.* 1949. 40*s.*

ARTIFICIAL RADIOACTIVITY, *par P. B. Moon. Pp.* 102, *avec diverses figures. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

MAGNETISM, *par David Schoenberg. Pp.* 216, *avec plusieurs diagrammes linéaires et illustrations en demi-teintes. Sigma Books, Londres.* 1949. 10*s.* 6*d.*

EXTRAPOLATION, INTERPOLATION AND SMOOTHING OF STATIONARY TIME SERIES, *par Norbert Wiener. Pp.* 160. *John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, Londres.* 1949. 32*s.*

RECENT ADVANCES IN RADIO RECEIVERS, *par L. A. Moxon. Pp.* 183, *avec diverses figures. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 18*s.*

ENGINEERING STRUCTURES, *série d'articles ayant trait à un mouvement de recherche sous les auspices de la Societé Colston de Recherche. Rédigés par A. G. Pugsley et D. R. Rexworthy. Pp.* 260, *avec de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. Butterworth's Scientific Publications, Londres.* 1950. 25*s.*

SURFACE TENSION AND THE SPREADING OF LIQUIDS, *par R. S. Burdon. Pp.* 92, *avec divers diagrammes linéaires et en demi-teintes. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

SOME RECENT RESEARCHES IN SOLAR PHYSICS, *par F. Hoyle. Pp.* 134, *avec divers diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

EXCITED STATES OF NUCLEI, *par S. Devons. Pp.* 152, *avec divers diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

THE ADSORPTION OF GASES ON SOLIDS, *par A. R. Miller. Pp.* 133, *avec de nombreux diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

OSCILLATIONS OF THE EARTH'S ATMOSPHERE, *par M. V. Wilkes. Pp.* 74, *avec divers diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

AVIATION MEDICINE, *par Kenneth G. Bergin. Pp.* 447, *avec de nombreuses figures et illustrations en demi-teintes. John Wright and Sons, Bristol; Simpkin Marshall* (1941), *Londres.* 1949. 35*s.*

THE THEORY OF INBREEDING, *par Ronald A. Fisher. Pp.* 120. *Oliver and Boyd, Edimbourg.* 1949. 10*s.* 6*d.*

SOVIET GENETICS AND WORLD SCIENCE, *par Julian Huxley. Pp.* 245. *Chatto and Windus, Londres.* 8*s.* 6*d.*

DEATH OF A SCIENCE IN RUSSIA, *par Conway Zirkle. Pp.* 319. *University of Pennsylvania Press, Philadelphie.* 1949. $3,75.

THE COMING AGE OF WOOD, *par Egon Glesinger. Pp.* 279, *illustré de plusieurs tableaux. Martin Secker and Warburg, Londres.* 1950. 12*s.* 6*d.*

TRAITÉ DE ZOOLOGIE, *Vol.* VI. *Onychophores, Tardigrades, Arthropodes, Trilobitomorphes, Chélicérates. Pp.* 979. *Vol.* IX. *Insectes: Paléontologie, Géonémie, Insectes Inférieurs, Coléoptères. Pp.* 1117. *Publié sous la direction de Pierre-P. Grassé. Avec de nombreuses planches en couleur, des diagrammes linéaires et en demi-teintes. Masson et Cie, Paris.* 1949.

THE HISTORY OF THE BIOCHEMICAL SOCIETY 1911–1949, *par R. H. A. Plimmer. Pp.* 24, *avec de nombreuses planches en demi-teintes. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 2*s.* 6*d.*

BERGWERK- UND PROBIERBÜCHLEIN. *D'après les textes allemands du seizième siècle, traduits et rédigés par A. G. Sisco et C. S. Smith. Pp.* 196, *avec de nombreux croquis. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York.* 1949. $5.

THE PERSONALITY OF WILLIAM HARVEY, *par Geoffrey Keynes. Pp.* 48, *avec huit portraits. Cambridge University Press, Londres.* 1949. 5*s.*

CRUCIBLES: THE STORY OF CHEMISTRY, *par Bernard Jaffe. Troisième édition, revue et élargie. Pp.* 480. *Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1950. 18*s.*

MATHEMATICS AND THE IMAGINATION, *par James Newman. Pp.* 380, *avec de nombreux diagrammes linéaires. G. Bell and Sons, Londres.* 1949. 15*s.*

THE INFANCY OF SPEECH AND THE SPEECH OF INFANCY, *par Léopold Stein. Pp.* 209, *avec de nombreux croquis et illustrations en demi-teintes. Methuen and Company, Londres.* 1949. 21*s.*

SNOWDONIA, THE NATIONAL PARK OF NORTH WALES, *par F. J. North, Bruce Campbell and Richenda Scott. Pp.* 469, *avec* 56 *planches en couleurs,* 48 *photographies noir sur blanc,* 6 *cartes et* 26 *diagrammes. Collins, Londres.* 1949. 21*s.*

GLASS-TO-METAL SEALS, *par J. H. Partridge. Pp.* 238, *avec de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. The Society of Glass Technology, Sheffield.* 1949. 35*s.*

THE POWER AND LIMITS OF SCIENCE, *par E. F. Caldin. Pp.* 196. *Chapman and Hall, Londres.* 1949. 12*s.* 6*d.*

ALCOHOL, A FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES, *par S. J. W. Pleeth. Pp.* 259, *avec de nombreux diagrammes linéaires. Chapman and Hall, Londres.* 1949. 28*s.*